

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

«На правах рукопису»  
УДК 004.42

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ І.Р. Пархомей  
(підпис)

“    ” \_\_\_\_\_ 2019 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»

на тему: Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі

Виконав: студент другого курсу, групи ІК-81мп  
(шифр групи)

Синегуб Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент, к.т.н., доцент, Тимошин Ю.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант НК к.т.н., доцент, Пасько В.П.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра технічної кібернетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ І.Р. Пархомей

(підпис)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Синегуб Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі» \_\_\_\_\_, науковий керівник дисертації доцент, к.т.н., доцент Тимошин Ю.А., \_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_
3. Об'єкт дослідження: Методи і засоби визначення місцеположення та можливих траєкторій переміщення роботизованого пристрою в умовах обмеження приміщень і наявності перешкод.
4. Предмет дослідження: Алгоритми визначення місцезнаходження і прокладання безпечних маршрутів для роботизованого пристрою при його переміщенні в розумному домі.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз існуючих технологій та алгоритмів планування шляху для розрахунку траєкторій безпечного переміщення мобільного робота у приміщенні, оцінка та параметричний опис типів об'єктів, які можуть виступати як перешкода, розробка архітектури інтелектуальної системи прийняття рішень роботизованого пристрою, розробка алгоритмів системи інтелектуального прийняття рішень.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: шість плакатів.

7. Орієнтовний перелік публікацій одна публікація:

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
НК	Пасько В.П., доцент		
Перевірка на співпадіння	Лісовиченко О.І., доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування проблематики	02.09.2019 – 08.09.2019	
2	Аналіз проблематики	09.09.2019 – 15.09.2019	
3	Аналіз наявних рішень	16.09.2019 – 22.09.2019	
4	Формування вимог до структури системи	23.09.2019 – 29.09.2019	
5	Опис алгоритму роботи системи	30.09.2019 – 06.10.2019	
6	Розробка архітектура системи	07.10.2019 – 13.10.2019	
7	Розробка алгоритмів системи	14.10.2019 – 20.10.2019	
8	Маркетинговий аналіз стартап-проекту	21.10.2019 – 27.10.2019	
9	Висновки	28.11.2019 – 05.11.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Синегуб О.О.  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Тимошин Ю.А.  
(ініціали, прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему: “Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі” містить 80 сторінок тексту, рисунків - 21, таблиць - 10, використаних джерел - 15 та 7 додатків.

Актуальність теми дипломного проекту продиктована тим, що в останні роки люди все більше і більше роблять свої будинки “розумними”. Це пояснюється тим, що системи такого будинку дозволяють заощаджувати час, підвищувати рівень комфорту та безпеки користувача.

Проте, разом з інтеграцією роботизованих систем і пристроїв виникає питання безпеки їх функціональності в середовищі де вони працюють. Зокрема, виникає проблема безпечного переміщення мобільних пристроїв на території “розумного будинку”, де вони можуть заподіяти шкоди як собі, так і майну власників, не кажучи вже про здоров’я самих користувачів.

Також основною проблемою нині існуючих роботизованих пристроїв, що пересуваються без допомоги людини є навігація. Зокрема, ця проблема у будинку несе більш серйозних характер, через постійну зміну певних об’єктів у середовищі, наприклад меблів.

Рішенням цих проблем може бути інтелектуальна система прийняття рішень для забезпечення безпечного переміщення роботизованого пристрою в РД, що буде прокладати безпечний маршрут.

Метою даного проекту є забезпечення безпечного переміщення мобільного роботизованого пристрою в інтелектуальному домі.

Об’єкт:

Методи і засоби визначення місцеположення та можливих траєкторій переміщення роботизованих пристроїв в умовах обмеження приміщень і наявності перешкод.

Предмет:

Алгоритми визначення місцезнаходження і прокладання безпечних маршрутів для роботизованих пристроїв і систем при їх переміщенні в РД.

Ключові слова: роботи, мобільні пристрої, навігація роботизованих пристроїв, безпечне переміщення, розумний будинок.

## **ABSTRACT**

The diploma project on the theme: "The system for monitoring the safe movement of robotized devices and systems in the SH" contains 80 pages of text, drawings - 21 , tables - 10 , sources - 15 and 7 attachments.

The urgency of the topic of the project is dictated by the fact that in recent years people increasingly make their homes "smart". This is due to the fact that the systems of this building can save time, increase the level of comfort and increase the safety of the user.

However, along with the integration of robotized systems and devices, there is a question of the safety of their functionality in the environment where they work. In particular, there is a problem of the safe movement of mobile devices in the "smart house", where they can cause damage to themselves and property of owners, not to mention the health of the users themselves.

A solution to these problems may be a single monitoring system for the safe movement of robotic devices in the SH, which will monitor the positions of robots, lay a safe route and report it.

The purpose of this project is to develop a monitoring system to ensure the safe movement of robots in the smart house.

Object - methods and means of determining the location and possible path of moving robotic devices and systems of different types in conditions of space constraints and the presence of obstacles.

Subject - algorithms for monitoring location and laying safe routes for robotic devices and systems in SH.

Keywords: robots, mobile devices, navigation of robotic devices, safe moving, smart house.

**Пояснювальна записка  
до магістерської дисертації**

на тему: Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого  
пристрою в розумному домі

Київ – 2019 року

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИДІВ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ.....	11
1.1 Аналіз існуючих видів систем позиціонування роботизованих пристроїв.....	13
1.1.1 Глобальна, автономна, персональна і локальна система позиціонування.....	15
1.1.2 Порівняння особливостей застосування систем та вибір найкращої.....	15
1.2 Аналіз методів локального позиціонування.....	16
1.2.1 Технологія позиціонування на базі інфрачервоних пристроїв.....	16
1.2.2 Метод ультразвукової ідентифікації місцеположення .....	17
1.2.3 UWB (надширокосмугові) технології, їх обмеження та особливості.....	17
1.3 Аналіз існуючих алгоритмів пошуку шляху для роботизованого пристрою.....	19
1.3.1 Трасування в відомих дискретних середовищах .....	19
1.3.2 Трасування в відомих неперервних середовищах.....	21
1.3.3 Трасування в невідомих середовищах .....	23
1.3.4 Висновки по алгоритмам пошуку шляху ..	25
1.4 Аналіз типів можливих перешкод на шляху руху робота в РД .....	25
1.5 Аналіз можливих траєкторій безпечного переміщення мобільних роботів у приміщенні.....	26
Висновки до розділу.....	27
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ В РОЗУМНОМУ ДОМІ.....	28
2.1 Опис загальної архітектури системи.....	28
2.2 Алгоритм SLAM.....	30
2.2.1 Модель об'єкту управління.....	30
2.2.2 Карта простору.....	32
2.2.3 Фільтр часток.....	33
2.3 Розробка алгоритму пошуку найкоротшого шляху .....	37

2.4 Розробка вимог до функціональності базового модуля моніторингу та управління роботизованими пристроями в РД.....	39
2.5 Розробка вимог до мобільного модуля, що знаходиться в роботизованому пристрої .....	40
2.6 Модель «зони безпеки» роботизованого пристрою в приміщенні.....	41
Висновки до другого розділу.....	42
<b>РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В РОЗУМНОМУ ДОМІ .....</b>	<b>43</b>
3.1 Вимоги до моделювання.....	43
3.2 Моделювання алгоритму SLAM.....	43
3.3 Моделювання алгоритму знаходження найкоротшого шляху.....	45
3.4 Моделювання нейронної мережі для визначення швидкості приводів роботизованого пристрою .....	46
Висновки до третього розділу.....	50
<b>РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....</b>	<b>51</b>
4.1 Опис ідеї проекту.....	51
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	52
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту .....	53
4.4 Технологічний аудит ідеї проекту.....	62
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	65
Висновки по розділу.....	69
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>70</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....</b>	<b>71</b>
<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>72</b>
<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>80</b>



## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РД – “розумний дім”

РП – роботизований пристрій

ІСПР – інтелектуальна система прийняття рішень

БД – база даних

ПК – персональний комп’ютер

UWB (Ultra-Wide Band) – надширока смуга

RTLS (Real-time Locating System) – система позиціонування в реальному часі

ПЗ – програмне забезпечення

MVC(Model-view-controller) – модель-вигляд-контролер

## ВСТУП

Актуальність теми дипломної роботи продиктована тим, що в останні роки люди все більше і більше роблять свої будинки “розумними”. Це пояснюється тим, що системи такого будинку дозволяють заощаджувати час, підвищувати рівень комфорту та безпеки користувача.

Проте, разом з інтеграцією роботизованих систем і пристроїв виникає питання безпеки їх функціональності в середовищі де вони працюють. Зокрема, виникає проблема безпечного переміщення мобільного пристрою на території “розумного будинку”, де він може заподіяти шкоди як собі, так і майну власників, не кажучи вже про здоров’я самих користувачів.

Рішенням цих проблем може бути інтелектуальна система прийняття рішень для безпечного переміщення роботизованого пристрою в РД, що буде контролювати позицію робота, прокладати безпечний маршрут.

Ціль:

Метою даного проекту є забезпечення безпечного переміщення мобільного роботизованого пристрою в інтелектуальному домі.

Об’єкт:

Методи і засоби визначення місцеположення та можливих траєкторій переміщення роботизованих пристроїв в умовах обмеження приміщень і наявності перешкод.

Предмет:

Алгоритми визначення місцезнаходження і прокладання безпечних маршрутів для роботизованих пристроїв і систем при їх переміщенні в РД.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВИДІВ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ПРИСТРОЇВ

### 1.1. Аналіз існуючих видів систем позиціонування роботизованих пристроїв

Ні для кого не секрет те, що ринок персональних роботів з кожним роком росте все більше і більше. З'являються все нові види РП: від роботів-пилососів до роботів, що будують будинки та слідкують за хворими людьми.

За даними аналітиків IDC об'єм продаж роботів в 2018 році повинен досягнути відмітки в 103,1 млрд долларів, що в порівнянні з 2017 роком більше на 22,1%. А вже к 2021 року об'єм продаж підвищиться аж до 218,4 млрд долларів.

Тому, дивлячись на статистику, можна сказати, що у ближчому майбутньому роботи будуть вже майже у кожному домі і будуть повноцінно виконувати різні завдання замість людини.

Персональні сервісні роботи, наприклад, роботи-пилососи, найбільш часто застосовуються в побутових приміщеннях, тобто в замкнутому просторі.

Одна з актуальних проблем використання роботів - це автономний, прийнятий без участі людини, вибір маршруту роботом. Підставою для вибору служить самостійний аналіз ситуації. Навігація робота в просторі - це комбінація вище озвучених завдань.

Для вирішення завдання аналізу, або позиціонування, використовуються певний набір технічних засобів. Його використання вирішує це завдання для певних умов.

До складу використовуваних засобів входить логічний вузол (програмований логічний контролер, ЕОМ), а також набір датчиків. Датчики, або сенсори, дозволяють отримати інформацію про навколишнє середовище, наприклад, відстань до перешкоди, на підставі отриманих даних керуюча



система виробляє управління виконавчими пристроями (ефекторами) робота. Принципова схема представлена на рисунку:

Рис. 1.1. Базові елементи роботизованих систем

На ринку існують готові модулі, які вирішують завдання позиціонування, але як правило, вони спрямовані під строго певний тип як умов, так і самого робота. Готові рішення мають такі обмеження як швидкість пересування, максимально допустимі прискорення, габарити платформи і т. д.

Найбільшу цінність в готових рішеннях мають використовувані алгоритми роботи. Але в абсолютній більшості випадків вони закриті для загального доступу. Крім цього, програмне забезпечення також має індивідуальний характер, який можна застосовувати для певних умов. Таким чином, не існує готових, універсальних рішень для вирішення проблем навігації і як правило системи навігації розробляються індивідуально для використовуваного робота.

При оцінці методів навігації слід в першу чергу враховувати точність позиціонування. Так, прийнято вважати, що допустима помилка при визначенні координат робота - це величина, значення якої не більше половини від мінімальних габаритів робота. Крім того, в умовах замкнутого простору існує безліч перешкод, таких як проблеми з відображенням сигналів, нерівності освітлення і т. д. У цьому випадку середовище вносить принципову неточність і

невизначеність в канали зв'язку. В таких обставинах варто враховувати здатність систем працювати в умовах зашумленого середовища.

#### 1.1.1 Глобальна, автономна, персональна і локальна системи позиціонування

Залежно від класифікації виділяють кілька видів навігаційних систем. Для руху по заданій траєкторії, обходу перешкод, що ймовірно в побутових умовах, пропонується виділити чотири види навігаційних систем: глобальна система, локальна, персональна і автономна системи.

Завдання глобальної системи - визначення абсолютних координат, тобто широти і довготи. Це такі системи як GPS, RTK-GPS, які використовують супутники для позиціонування. Точність таких систем залежить від безлічі факторів, але в умовах, близьких до ідеальних найбільш розвинута з даних систем, GPS, здатна забезпечити точність з помилкою в межах 60-90 см.

Застосування систем глобального позиціонування ускладнюється їх залежністю від умов використання. Важко або неможливо використовувати дані системи всередині будівель, підземних спорудах і т. д. Таким чином, використання глобальних систем позиціонування має сенс при проходженні по досить довгим маршрутами. Вважається також, що чим більше робот, тим важливіше для нього застосування глобального позиціонування

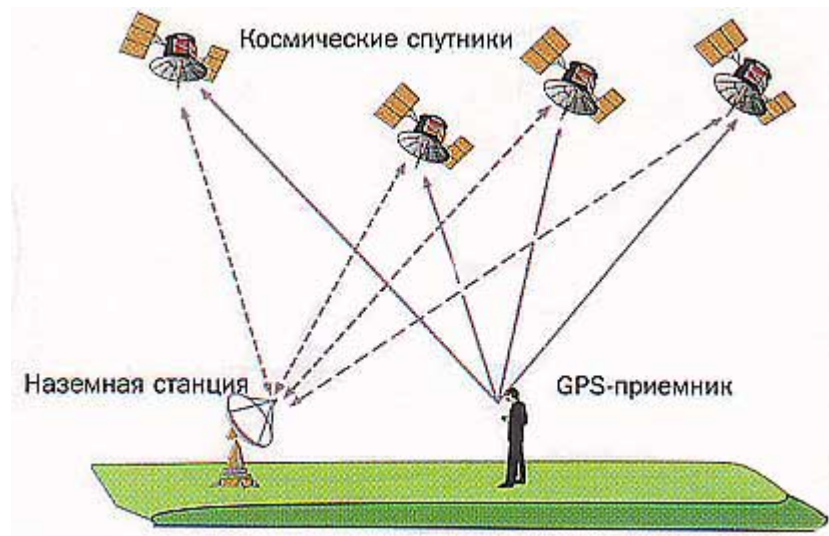
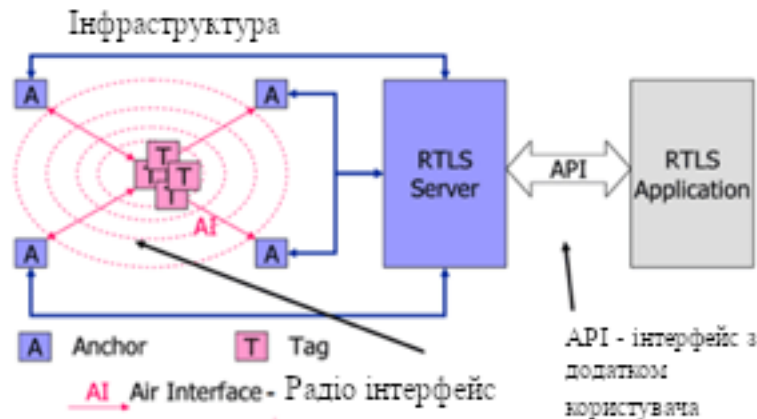


Рис 1.2. Приклад використання GPS

Персональна система застосовується при позиціонуванні окремих частин робота і взаємодії з прилеглими предметами. Така спрямованість важлива для пристроїв, що мають маніпулятори. Такі системи застосовуються для позиціонування в межах будь-якої конкретної території, наприклад, для навігації робота-збирача. Також персональні системи навігації застосовуються для проходження по заданій лінії, при русі по мітках.

Застосування на практиці даних систем позиціонування ускладнюється їх вузькою спрямованістю під задану місцевість, вони погано адаптуються під змінені умови і досить дорогі. Їх застосування доцільне для роботи в межах конкретної території.

В рамках автономної системи навігації застосовуються гіроскопи, цифрові компаси. Істотним недоліком таких систем є їх чутливість до нерівномірності поверхні: нахилам, купинах і т. д. Це вносить певні обмеження на їх використання. Автономні системи навігації знаходять застосування в умовах, коли передача або прийом сигналів ззовні важко або взагалі неможливо. Цей аспект важливий для замкнутих просторів, так як, як було сказано вище, вони мають підвищену зашумленість середовища.



Локальні системи використовують для позиціонування деяку точку, зазвичай стартову. Дані системи можуть застосовуватися на відносно великих локаціях, наприклад, для тактичних безпілотних літаків, які працюють в рамках відомої території. Система навігації A-GPS, яка використовує для позиціонування стільникові мережі, також є локальною.

Система локального позиціонування в режимі реального часу (RTLS) компанії Nanotron[1], яка використовує маяки з відомими координатами задля позиціонування визначення позиції предмету, зображена на рисунку.

Рис. 1.3. RTLS компанії Nanotron

### 1.1.2 Порівняння особливостей систем позиціонування та вибір найкращої

Для порівняння систем ми використаємо такі критерії, як:

- радіус дії (відстань від сенсорів до елементів інфраструктури),
- стійкість до багатопроменевого загасання (впливу відбитих сигналів),
- малі габарити і вага сенсорів,
- низьке енергоспоживання сенсорів (з метою економії заряду акумуляторів),
- простота розгортання і експлуатації,

- електромагнітна сумісність, необхідність отримання частотного дозволу,
- вартість рішень.

Проте треба зазначати, що ми шукаємо таку систему, що буде найкраще знаходити позицію РП у замкнутому просторі за малий проміжок часу. Тому автономна і персональна системи нам не підходять. Бо в цих системах для того, щоб визначити в якій саме точці в домі знаходиться РП, йому потрібно “порухатись” і зчитати достатню кількість даних елементів приміщення для порівняння з картою будівлі. До того ж ці системи при функціонуванні мають здатність накопичувати помилку координат свого положення при використанні, наприклад, одометрії чи інерціальних систем. А технології оптичного позиціонування (використання камери) ще не є надійними та являються доволі складними. Звичайно ж дані системи потрібні, наприклад, для того, щоб визначити перешкоду на шляху РП. Проте в даній роботі ми розробляємо систему позиціонування РП в РД і тому не розглядаємо ті технології, що наявні у РП для розпізнавання перешкод, а тільки ті, що дозволяють визначити координати робота на певній території.

Як вже було сказано раніше, глобальне позиціонування не підходить для замкнутого простору, бо по-перше, має малу точність (для маленького РП) і по-друге, при проходженні через стіни будівлі, сигнал спотворюється.

Тому з розглянутих вище методів для умов замкнутого простору підходить використання локальних систем позиціонування. Основною перевагою таких методів є висока точність, а також робота в умовах високої зашумленості навколишнього середовища.

## 1.2 Аналіз методів локального позиціонування

### 1.2.1 Технологія позиціонування на базі інфрачервоних пристроїв

У системах інфрачервоного позиціонування мобільні прилади випускають інфрачервоні імпульси з певною періодичністю. Ці імпульси сприймаються



приймачами системи, і місцезнаходження приладу розраховується за часом проходження сигналу від джерела до приймача.

Недоліки: невисока відносна точність і перешкоди від сонячного світла. ІК лазер підвищує дальність і точність вимірів, але обходиться дорожче. Точність позиціонування становить до 10 сантиметрів

### 1.2.2 Метод ультразвукової ідентифікації місцеположення

У системах ультразвукового позиціонування використовуються частоти від 40-130 кГц. Для визначення координат мітки зазвичай вимірюють ToF(Time-of-Flight) до чотирьох приймачів. Основний недолік – чутливість до втрат сигналу при наявності (появі) навіть «легких» перешкод, до помилкових сигналів і до перешкод від джерел ультразвуку, наприклад, від ультразвукових дефектоскопів, апаратів ультразвукової очистки на виробництві, УЗД в лікарні. Щоб виключити ці недоліки, потрібно ретельно планувати систему. Переваги ультразвукових систем - висока точність позиціонування, що досягає трьох сантиметрів.

### 1.2.3 UWB технологія, її обмеження та особливості

Технологія UWB (надширокосмугові сигнали) використовує короткі імпульси з максимальною пропускну здатністю при мінімальній центральній частоті. У більшості виробників центральна частота становить кілька гігагерц, а відносна ширина смуги – 25-100%. Технологія використовується в зв'язку, радіолокації, вимірюванні відстаней і позиціонуванні.

Це забезпечується передачею коротких імпульсів, широкосмугових за своєю природою. Ідеальний імпульс (хвиля кінцевої амплітуди і нескінченно малої тривалості), як показує аналіз Фур'є, забезпечує нескінченну смугу пропускання. UWB сигнал не походить на модульовані синусоїдальні хвилі, а нагадує серію імпульсів.

Виробники пропонують різні варіанти UWB технології. Розрізняються

форми імпульсів. У деяких випадках використовуються потужні поодинокі імпульси, в інших - сотні мільйонів малопотужних імпульсів в секунду.

Застосовується як когерентна (послідовна) обробка сигналу, так і не когерентна. Все це призводить до значної розбіжності характеристик UWB систем різних виробників.

Переваги технології: надійна робота, висока точність, стійкість до багатопроменевого загасання.

Обмеження: складність створення передавача суттєвої потужності (типова потужність - 50 мкВт, найбільш потужного - 10 мВт).

Порівняння цих технологій наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Порівняння технологій інфрачервоного, ультразвукового та UWB позиціонування.

Тип	Точність (приблизно)	Дистанція	Вартість	Додатково
Інфрачервоне	10 см	до 10 метрів	Висока	Чутливість до перешкод від сонячного світла
Ультразвукове	10 см	до 10 метрів	Висока	Можливі перешкоди при проблемі прямої видимості чи при існуючих інших джерелах ультразвуку поруч
UWB	10 см	до 10 метрів	Висока	Обмеження в потужності, стійка до багатопроменевого загасання

Аналізуючи усе вищезгадане можна прийти до висновку, що представлені технології по основним критеріям позиціонування майже ідентичні. Проте технологія UWB має більшу перевагу по-перше через те, що її сигнал може проходити через перешкоди, а по-друге, бо вона є стійкою до багатопроменевого затухання на відміну від ультразвуку та інфрачервоного світла.

### 1.3 Аналіз існуючих алгоритмів пошуку шляху для роботизованого пристрою

В даному розділі ми розглянемо існуючі алгоритми трасування (задачі пошуку шляху з однієї точки місцевості в іншу, яка може містити різні перешкоди).

Всі задачі пошуку шляху можна поділити на три класи:

- навігація в відомому дискретному середовищі,
- навігація в відомому неперервному середовищі,
- навігація в невідомому середовищі.

#### 1.3.1 Трасування в відомих дискретних середовищах

Для даної задачі початковими умовами є задана растрова карта у вигляді двовимірної площини, яка є поділеною на клітинки та має відмічені стартову, кінцеву координати та координати перешкод.

В даній задачі можна йти двома шляхами:

- прокладати шлях по ходу просування робота, ігноруючи перешкоди до того як відбудеться зіткнення з ними,
- заздалегіть спланувати шлях, до початку переміщення.

Недоліками першого способу є ненадійність та непрацездатність алгоритму в зважених середовищах. Переваги: простота, для даного алгоритму потрібно мало пам'яті.

Якщо заздалегіть планувати шлях, то середовище в якому буде працювати робот можна представити у вигляді графа і тоді можна скористатися алгоритмами для планування шляху на графах.

Найбільш відомі алгоритми пошуку шляху на графах:

- Пошук в ширину

Даний алгоритм запускає хвилю зі стартової точки, яка потім поступово заповнює весь простір поки нарешті не дійде до кінцевої точки.

Перевагами цього алгоритму є: простота в реалізації та те, що він завжди знаходить найкоротший шлях при тому, що всі ребра рівні між собою.

Недоліки: пошук не є ціленаправленим в кінцеву точку, а йде рівномірно у всі напрямки, не завжди всі ребра рівні між собою.

- Двунправлений пошук в ширину

Цей алгоритм є оптимізованим алгоритмом пошуку в ширину. Відмінність його від останнього лиш у тому, що хвилі запускаються з двох точок(початкової та кінцевої) та пошук йде до того моменту поки дві хвилі не зустрінуться.

- Пошук у глибину

Цей алгоритм є протилежним алгоритму пошуку в ширину. Його недоліками є: довгий час роботи та ігнорування напрямку до цілі

- Алгоритм Дейкстри

Алгоритм Дейкстри є одним із кращих алгоритмів для пошуку найкоротшого шляху в графі, вага ребер якого має різні значення.

Перевагами цього алгоритму є те, що він працює в зважених середовищах та оновлює вузли, коли знаходить найкращий шлях до них. Недоліком є те, що він ігнорує направлення до цілі.

- Best-First Search

Даний алгоритм був створений задля виправлення недоліку всіх минулих алгоритмів: ігнорування направлення до цілі. У ньому використовується евристичний пошук та він має високу швидкість роботи. Проте його недоліком є те, що він працює не в зважених середовищах та не обходить зони з високою вагою.

- Алгоритм A\*

Цей алгоритм вважається найкращим алгоритмом для пошуку оптимальних шляхів. Він має в собі такі переваги як врахування довжини минулого шляху (з Дейкстри) та використання евристики (з Best-First Search). A\* сортує всі вузли по приближенню найліпшого маршруту, який простягається через вузол. Також A\* обходить зони з високою вагою та справляється з проблемними для інших алгоритмів ситуаціями (зациклення наприклад). Проте при використанні алгоритму на великих картах можуть трапитися проблеми з пам'яттю.

### 1.3.2 Трасування в відомих неперервних середовищах

Суть цього методу в тому, що між початковою і кінцевою точкою, а також між усіма точками вершин перешкод будується неорієнтований граф. Потім для знаходження шляху можна використати будь-який алгоритм на графах (Дейкстри, A\*). Приклад цього методу можна бачити на рис. 1.4.

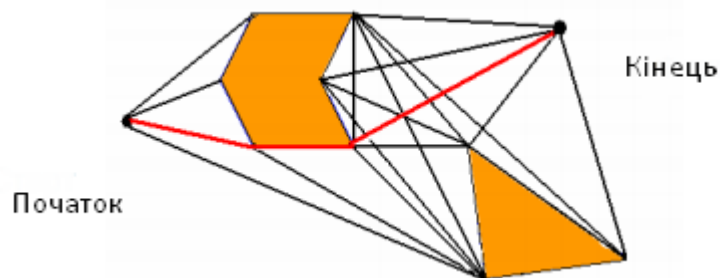


Рисунок 1.4. Граф видимості

Основною ідеєю цього метода є те, що предмети, які оточують робота притягують або ж відштовхують його в процесі руху. При пересуванні робота розраховується вектор, який є функцією цільової точки та оточуючих перешкод. По цьому вектору і рухається робот, поки не добереться до цілі.

Основними правилами цього методу є те, що робот притягується до кінцевої точки та відштовхується від перешкоди та від початкової точки.

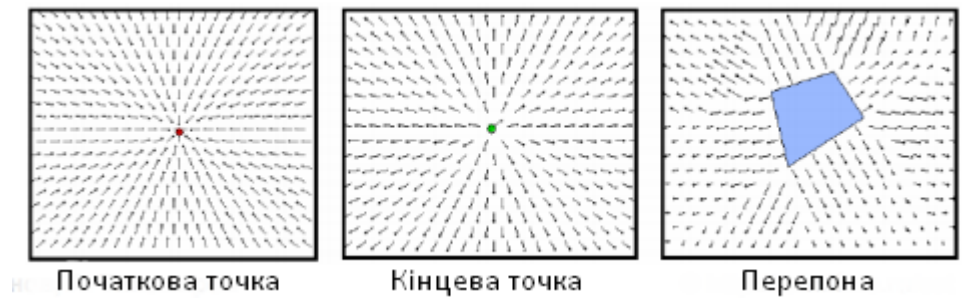


Рисунок 1.5. Напрямок потенціальних полів

Представлення даного методу може бути векторним або ж растровим.

При векторному представленні у пам'яті зберігаються всі відрізки перешкод. Ці відрізки являють собою вектора та є границями перешкод.

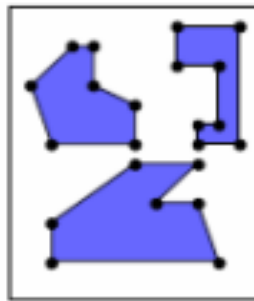


Рисунок 1.6. Векторне представлення

При растровому представленні карта зберігається у пам'яті у вигляді сітки. Кожна клітинка сітки є по суті ймовірністю того, чи є в клітинці перешкода. При такому представленні головним є точність масштабів сітки. Зі зменшенням точності можлива втрата декількох або всіх рішень задачі по пошуку шляху. А зі збільшенням – витрачається більше пам'яті.



Рисунок 1.7. Зменшення масштабів сітки

### 1.3.3 Трасування в невідомих середовищах

Необхідними умовами даного методу є:

- РП повинен вміти розпізнавати перед собою перешкоду і вміти рухатися вздовж неї.
- Робот повинен знати координати цілі та свої координати.
- Інформація про ціль робота повинна бути відома, а інформація про перешкоди - ні.

Ми розглянемо такі алгоритми трасування в невідомих середовищах, як Bug1 та модифікацію до Bug1 – Bug2.

Алгоритм Bug1:

- РП рухається до цілі по заданій прямій від точки старту, поки не зустрине перешкоду.
- РП рухається вздовж перешкоди доки не знайде найближчу точку на перешкоді до цілі. Потім рухається по напрямленню до цілі.
- І так циклічно, поки не дійде до кінцевої точки.

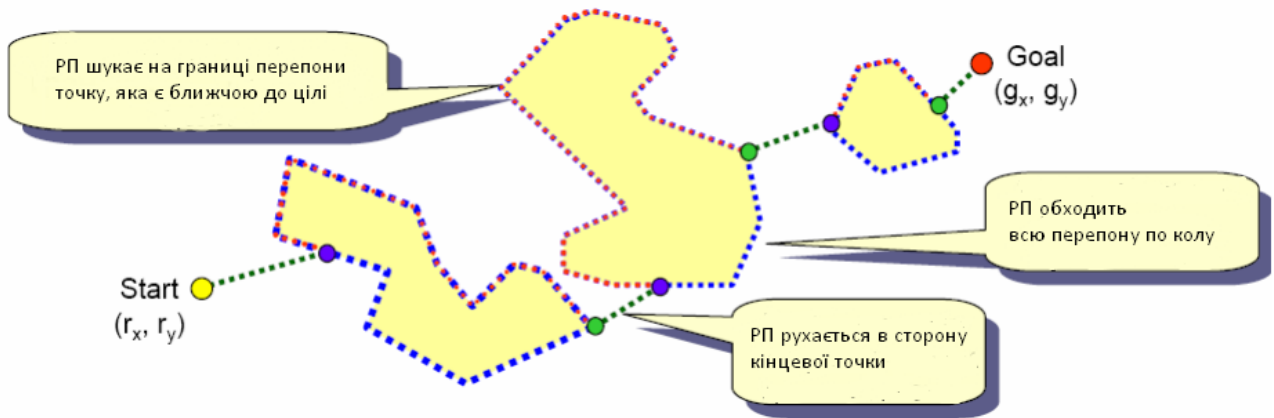


Рисунок 1.8. Приклад роботи алгоритму Bug1.

Алгоритм Bug2 являється модифікацією алгоритму Bug1. Він був створений для того, щоб виключити обхід РП всієї границі перешкоди.

Алгоритм Bug2:

- РП рухається до цілі, поки не зустрінє перешкоду. Алгоритм запам'ятовує точку зустрічі та лінію від початкової до кінцевої точки.
- Далі РП обходить перешкоду доти, поки не перетне лінію від стартової до фінішної точки.
- Якщо РП не може прийти до точки перетину лінії, то шляху не існує.

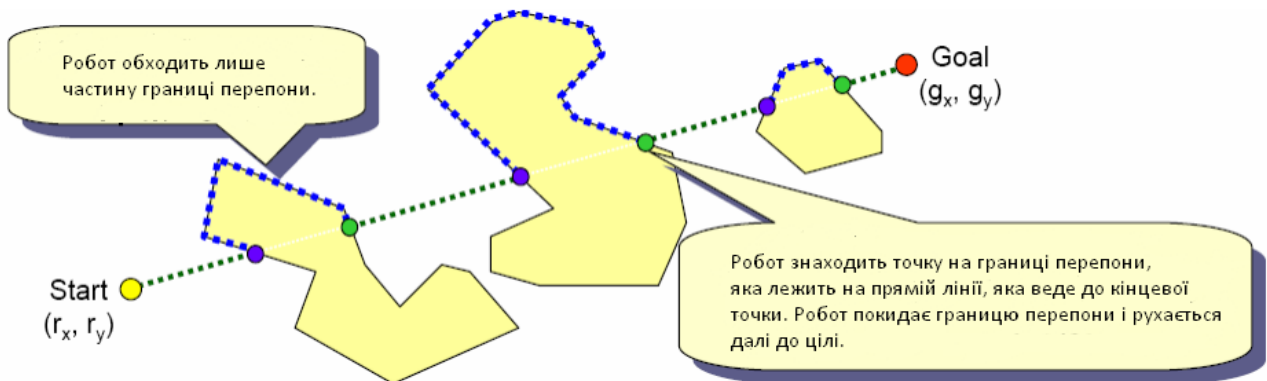


Рисунок 1.9. Приклад роботи алгоритму Bug2.

Особливістю даного алгоритму є те, що дистанція дуже залежить від вибору сторони обходу перешкоди. Тому в найгіршому випадку РП приходить обходити весь периметр перешкоди.



Перевагами даних алгоритмів сімейства Bug є простота та інтуїтивність, нескладна реалізація та гарантоване знаходження шляху (якщо такий є). Недоліками можна назвати те, що сенсори РП можуть помилятися при розпізнаванні перешкоди.

#### 1.3.4 Висновки по алгоритмам пошуку шляху

Для ІСПР РП в середовищі РД, тобто в замкненому відомому та незмінному середовищі, доцільно буде при впровадженні самої системи розробити карту будинку. Ця карта буде в свою чергу містити відомості про положення роботів, координати перешкод та відомості про кінцеву та початкову точки шляху робота. Доцільно зробити цю карту у вигляді сітки, кожна комірка якої буде містити в собі вірогідність зайнятості перешкодою тієї координати, якій вона відповідає (растрове представлення). Також для роботів різних типів і розмірів буде зручно встановлювати індивідуальний розмір комірок сітки, задля покращення алгоритму.

При виявленні же роботом перешкоди на своєму шляху доцільно використовувати алгоритми трасування в невідомих середовищах. В даному проекті ми будемо використовувати алгоритм сімейства Bug - Bug2.

#### 1.4 Аналіз типів можливих перешкод на шляху робота в РД

Так як середовище нашої ІСПР РП це будинок/квартира, то потрібно розглянути які саме перешкоди можуть траплятися на шляху у робота у жилому приміщенні.

При проектуванні системи важливим етапом є класифікація перешкод у РД, для подальшого занесення їх в систему у вигляді позначок на карті та прокладення маршруту для робота. Ми класифікуємо перешкоди за принципом їх переміщення:

1. Нерухомі - такі перешкоди, які не будуть міняти своєї позиції, наприклад стіни, туалет, ванна.

2. Малорухливі – в основному це такі перешкоди, які можуть бути пересунуті через великий проміжок часу. Наприклад ліжка, диван, шафа, холодильник.
3. Багато рухомі – ті, позиція яких у середовищі дому може змінюватись дуже часто за малий проміжок часу. Наприклад стільці, люди, тварини тощо.

У ІСПР РП передбачена карта середовища(приміщення РД), по якій система буде прокладати маршрути для роботів. На карті будинку будуть позначені перешкоди по їх класифікації. Так, нерухомі перешкоди будуть внесені на карту вже під час впровадження ІСПР РП в сам РД. Інші ж перешкоди будуть записані у карту вже під час роботи самої системи.

Потрібно ще раз зазначити, що система не передбачає виявлення перешкод. Вони виявляються самим роботом під час його переміщення по маршруту і далі робот повідомляє про це саму систему, яка класифікує і заносить їх на карту.

Класифікація ж перешкод дозволяє системі прокладати маршрути, враховуючи в алгоритм різні місця у домі, наприклад зони з малорухливими предметами будуть більш перспективнішими ніж зони з багато рухомими предметами. Це дозволяє прокладати більш безпечний, хоча може й не найшвидший маршрут.

### 1.5 Аналіз можливих траєкторій безпечного переміщення роботів у приміщенні

Як було сказано у попередніх пунктах, ІСПР РП має карту приміщення, по якій рухаються роботи. Траєкторія руху робота вибирається між двома точками: стартовою та кінцевою. Якщо є декілька можливих шляхів для пересування робота, то вибирається не той, що найшвидший, а той, що безпечніший.

Проте вибір самої траєкторії переміщень робота залежить також від типу РП. Якщо це, наприклад, робот-пилосос і йому потрібно прибрати всю кімнату,

то маршрут прокладається між двома найвіддаленішими точками карти і проходить через усю карту кімнати.

Задання початкової та кінцевої точки можливе лише самою системою.

В такому випадку, при визначені траєкторії системою, вона може встановлювати початкову та кінцеву точки, при цьому аналізуючи при яких позиціях цих точок програма робота буде виконуватися найкраще. Наприклад при тому ж прибиранні кімнати роботом-пилососом система задасть йому траєкторію руху при якій він швидше завершить виконання свого завдання (прибирання).

### Висновки до розділу

Отже, у даному розділі ми проаналізували методи сучасного позиціонування РП та алгоритми пошуку шляху для переміщення між двома точками. Виявили, що для знаходження позиції робота в умовах замкненого середовища (РД) краще всього підходить методи системи локального позиціонування. Бо основною перевагою таких методів є висока точність, а також робота в умовах високої зашумленості навколишнього середовища. Серед методів системи локального позиціонування найкращою є UWB технологія через те, що її сигнал може проходити через перешкоди, а також вона є стійкою до багатопроменевого затухання на відміну від ультразвуку та інфрачервоного світла.

Також ми проаналізували типи можливих перешкод та можливих траєкторій на шляху РП. Запровадили класифікацію перешкод за принципом їх переміщення з часом по приміщенню. А вибір траєкторії можливий як користувачем, так і самою системою.

## РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ В РОЗУМНОМУ ДОМІ

### 2.1 Опис загальної архітектури системи

В даному розділі буде описана архітектура ІСПР РП. Для початку потрібно сказати, що ця система має вирішувати три задачі, а тому її саму можна умовно поділити на три частини:

- позиціонування РП в середовищі,
- прокладання маршруту,
- “спілкування” системи з РП.

Як і кожна окрема система, наша повинна мати свій “мозок” - головний модуль, який всім управляє та приймає рішення. Даний пристрій повинен обмінюватися даними з РП, клієнтським додатком, та пристроями, які призначені для позиціонування робота.

Визначення позиції РП, як вже відзначалося раніше при аналізі сучасних методів позиціонування, буде відбуватися за рахунок побудови сіткової карти.

Взаємодія системи з роботом певною мірою залежить від самого робота та його призначення. “Спілкування” робота з головним модулем можливе у різні способи:

- Тільки повідомлення головним модулем робота про його місцезнаходження у просторі будинку.
- Надсилання до його бази карти приміщення, а також повідомлення його позиції.
- Надання команд вже безпосередньо під час переміщення РП з однієї точки в іншу.

Хоча дана система розробляється якраз для того, щоб спростити виробництво роботів та зробити кінцеву вартість продукту нижчою, через те, що

прибираються різні непотрібні сенсори та алгоритми, призначені для позиціонування, проте кінцеве рішення все ж залишається за розробником РП.

Тому, в першому випадку, коли, наприклад, у робота впроваджені свої алгоритми, сенсори, карта та певний функціонал, а не вистачає лише відносної позиції, то відповідно наша система може її йому повідомити. І навіть в цьому випадку вона буде досить корисною для РП та для користувача, через те що вона заощадить час, який буде потрібно роботу, щоб визначити своє місцеположення.

Минулий варіант роботи системи підходить, наприклад, для взаємодії з сучасними роботами-пилососами, які при своєму першому запуску будують карту приміщення. Проте, під час прибирання, для того, щоб визначити своє місцеположення їм необхідно зчитати необхідну кількість даних з навколишнього середовища, що забере певний час. А при дуже нестабільному середовищі, наприклад, в дитячій кімнаті де речі можуть міняти своє місцеположення доволі часто, робот взагалі може не зрозуміти де він знаходиться.

Ще одним варіантом, при тому, що в роботі є свої алгоритми, яким розробник даного РП не хоче ділитися, є надання базі даних робота карти будинку. При запусках цього робота карта буде оновлюватися, а головний модуль системи буде повідомляти про його позицію.

Проте самим бажаним для повноцінного моніторингу та безпечного управління робота буде виконання даною ІСПР РП таких можливостей, як:

- одночасна локалізація та розробка карти(SLAM),
- пошук оптимального шляху(трасування та формування траєкторії),
- керування рухом(обхід перешкод).

## 2.2 Алгоритм SLAM

Для реалізації алгоритму SLAM для даної роботи, був обраний підхід на основі фільтра частинок. Цей підхід був обраний через сучасність даного підходу, його ефективності для рішення задачі SLAM для мобільних роботів і великої кількості літератури за різними алгоритмами SLAM заснованим на використанні фільтра частинок.

Для розробки алгоритму на основі даних одержуваних за допомогою одометрів і ультразвукових або інфрачервоних датчиків, був обраний підхід, який базується на використанні фільтра частинок. Даний підхід є одним з найсучасніших і найпоширеніших підходів до вирішення завдання SLAM, при цьому він позбавлений недоліків фільтра Калмана.

В якості моделі мобільного робота будемо використовувати модель двоколісного мобільного робота. Дана модель була вибрана для простоти і наочності, а також з причини поширеності даної схеми серед мобільних роботів.

### 2.2.1 Модель об'єкта управління

Як говорилося вище, в якості об'єкта управління для апробування роботи алгоритму SLAM ми будемо використовувати модель двогусеничного мобільного робота. Рівняння кінематики, яке описує переміщення двоколісного мобільного робота має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \cdot \sin\varphi, \\ \dot{y} = v \cdot \cos\varphi, \\ \dot{\varphi} = \omega, \\ v = \frac{1}{2a_0}(U_1 + U_2), \\ \omega = \frac{1}{2a_0l}(U_1 - U_2), \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $x$  та  $y$  – координати об'єкта на площині,  $v$  та  $\omega$  – лінійна та кутова швидкості об'єкта ( $0 \leq v \leq v_{max}$ ;  $-\omega_{max} \leq \omega \leq \omega_{max}$ ),  $\varphi$  – кут, характеризує напрямок

руху об'єкта щодо осі ординат.  $l$  – половина відстані між колесами,  $r$  – радіус колеса.

На рис. 2.1 наведено схематичне зображення мобільного робота.

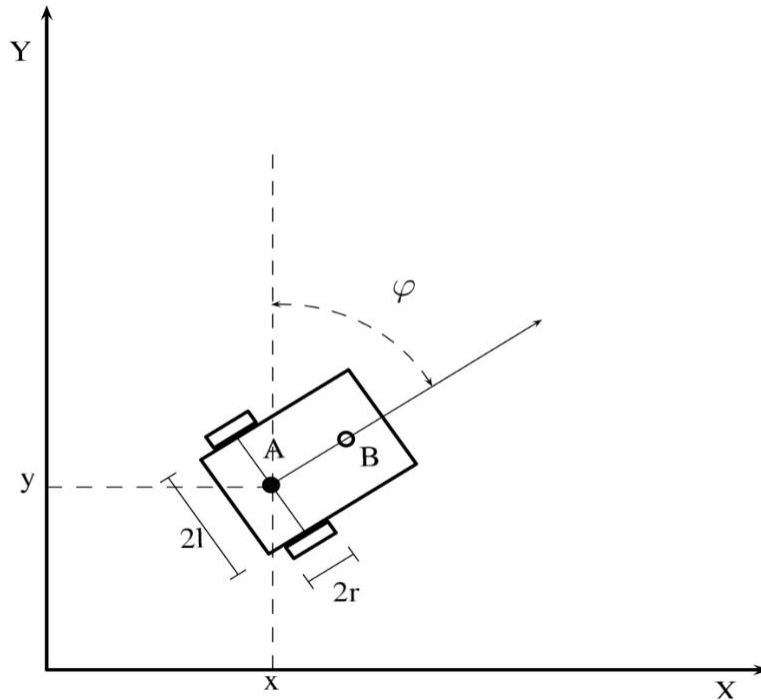


Рисунок 2.1. Кінематична модель двокісного мобільного робота

На кожному кроці квантування часу  $\Delta t$ , ми будемо обчислювати кут повороту кожного колеса ( $\Delta\alpha_R, \Delta\alpha_L$  – кут повороту правого і лівого колеса робота відповідно). Визначити переміщення ( $\Delta S$ ) і кут повороту ( $\Delta\varphi$ ) робота щодо точки A можна за формулою:

$$\begin{cases} \Delta S = \frac{r(\Delta\alpha_R + \Delta\alpha_L)}{2}, \\ \Delta\varphi = \frac{r(\Delta\alpha_R - \Delta\alpha_L)}{2l}. \end{cases} \quad (2.2)$$

### 2.2.2 Карта простору

В більшості алгоритмів SLAM, дані про навколишнє середовище зберігаються в так званій карті-сітці (grid map), яка представляє собою матрицю, кожен елемент якої описує прямокутну ділянку простору  $M_{i,j}$ , де  $i$  – змінюється від 0 до  $N_y$  та  $j$  – від 0 до  $N_x$ .

У найпростішій реалізації карти-сітки, якщо елемент матриці дорівнює 1, то це означає, що в відповідній ділянці знаходиться об'єкт, якщо елемент дорівнює 0, то ділянка вільна. Дане представлення можна порівняти з бінарним растровим зображенням.

У більш складній моделі карта-сітка простору включає в себе інформацію про ймовірність знаходження будь-якого об'єкта в кожному осередку карти  $i$ , отже, кожному елементу присвоюється значення від 0 до 1. Де 1 означає, що достовірно знаходження об'єкта приміщення, відповідна карта, а 0 відсутність будь-яких об'єктів. Такий підхід дозволяє врахувати статистичні характеристики вимірювань, що, в свою чергу, підвищує деталізованість одержуваної карти. При цьому порівняння скану з картою проводиться шляхом складання щільності ймовірності, що містяться в осередках карти, в які потрапили точки поточного скана. На відміну від попереднього варіанту, тут можна більш точно оцінити ступінь збігу, і як наслідок визначити перетворення координат з меншою похибкою.

На рис. 2.2 приведена графічна інтерпретація деякого ділянки приміщення у вигляді карти-сітки:

- а) з бінарним представленням,
- б) з імовірнісним.

В даному підході є істотний недолік, щоб забезпечити високу деталізацію карти, необхідно вибрати мінімальний розмір комірки, який можна порівняти з необхідною точністю локалізації. Це відповідно збільшує обсяг інформації для зберігання карти.



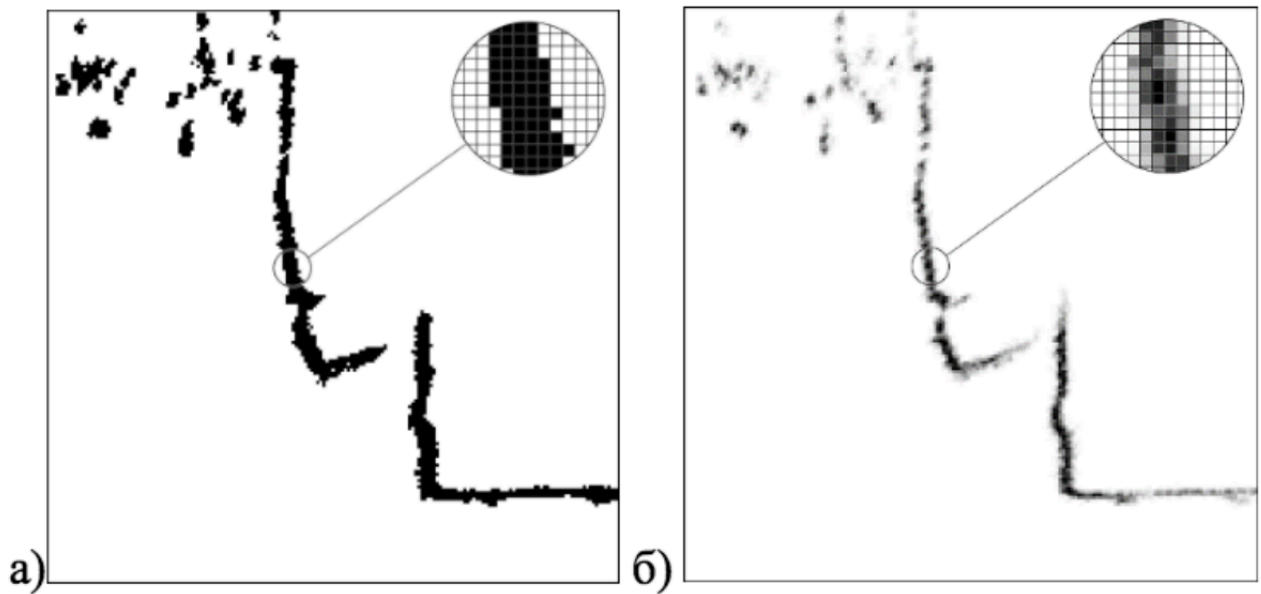


Рисунок 2.2. Графічна інтерпретація карти

У даній роботі для розрахунку ваги частинок ми будемо використовувати карту-сітку з імовірнісним поданням, це дозволить з більшою точністю обчислювати вага частинок, а отже, точніше визначати положення робота. А для відображення перешкод безпосередньо на самій карті, яку ми будемо будувати для відображення результатів моделювання, ми будемо використовувати підхід з бінарним представленням.

### 2.2.3 Фільтр часток

Фільтр частинок, або багаточастотний фільтр – в задачах одночасної локалізації та побудови карти, є одним з найбільш поширених методів для знаходження положення робота.

Фільтр частинок дозволяє отримати оцінку (наближене значення) параметрів системи або об'єкта (параметри А) які не можна виміряти безпосередньо. Для побудови цієї оцінки фільтр використовує вимірювання інших параметрів (параметри Б) пов'язаних з першими. Покажемо це на рис. 2.3.



Рисунок 2.3. Загальна схема роботи фільтра часток

Для оцінки параметрів А фільтр створює безліч гіпотез (часток) про поточні значення цих параметрів. У початковий момент часу ці гіпотези абсолютно випадкові, але на кожній ітерації циклу фільтрації фільтр буде прибирати гіпотези, які не пройдуть перевірку достовірності, засновану на вимірах параметрів Б.

На рис. 2.4 представлений більш детальний алгоритм визначення положення робота по положенню орієнтирів. По ньому видно, що для визначення положення робота на кожному етапі необхідно фіксувати хоча б по одному орієнтиру, інакше неможливо застосовувати алгоритм. Так як в даній роботі для розрахунку показань, ми будемо використовувати сіткову карту.

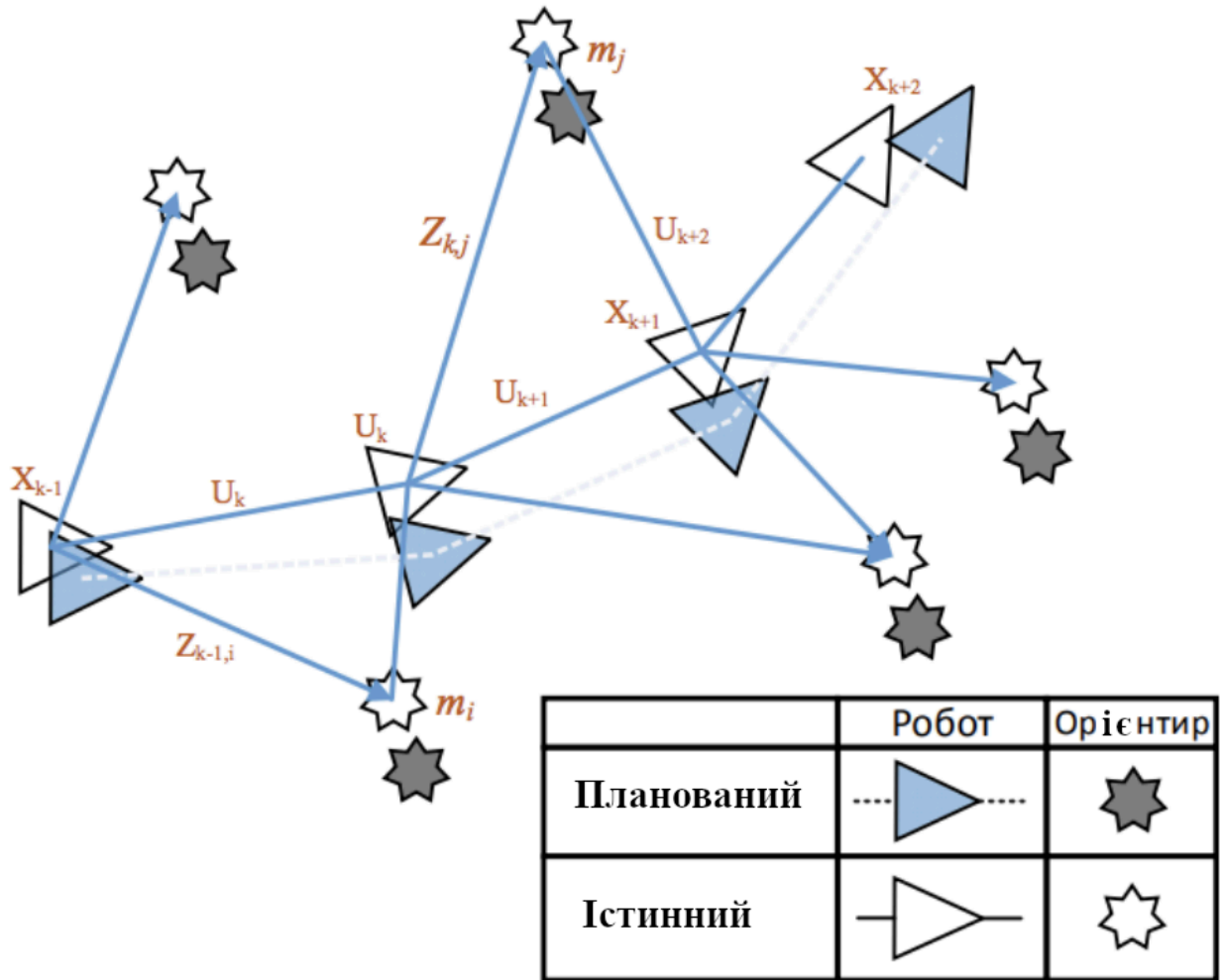


Рисунок 2.4. Схема роботи алгоритму SLAM

У даній роботі розглянуто один з найпростіших варіантів застосування фільтра частинок. Робот рухається в двовимірному просторі і може вимірювати дальність до певних об'єктів в цьому просторі (орієнтирів). Алгоритм фільтру частинок розділимо на дві частини: ініціалізація та основний цикл фільтрації.

**Ініціалізація.** Перш ніж приступати до фільтрації, фільтр частинок потрібно ініціалізувати – задати параметри, початковий розподіл та інші умови роботи фільтру.

Основний параметр фільтра частинок – число цих самих частинок. Чим більше частинок – тим точніше фільтр, і тим більше обчислень потрібно проводити на кожній ітерації основного циклу.

Початковий розподіл часток залежить від апіорної інформації. Наприклад, якщо нам відомо, що робот знаходиться в клітці з координатами  $(0, 0)$ , то всі частинки повинні бути випадковим чином розподілені всередині цієї клітини. А також орієнтація кожної частки повинна бути рівна 0.

**Основний цикл фільтрації.** Основний цикл фільтрації розділений на три фази:

- Рух. На цьому етапі робот здійснює рух і, так як рух робота відбувається з похибками, втрачає інформацію про своє місцезнаходження. Для більшості мобільних роботів цей етап відповідає розрахунку одометрів.
- Вимірювання. На цьому етапі робот здійснює вимірювання і отримує нову інформацію про своє місцезнаходження.
- Відсіювання. На цьому етапі відбувається вибірка частки з максимальним вагою, яка відповідає розрахованому положенню і орієнтації робота.

Розглянемо кожен з етапів окремо. У початковий момент часу робот проводить опитування за допомогою своїх обертових датчиків, це необхідно для формування початкової карти, на основі якої в подальшому буде розраховуватися ваги частинок.

**Рух.** Як говорилося вище, на цьому кроці відбувається розрахунок положення робота на основі даних, одержуваних з одометрів, цей етап необхідний для передбачення положення робота, а отже, і положення частинок.

**Вимірювання.** Перед початком роботи датчиків робота, йому необхідно зупинитися. Це необхідно для того, щоб робот зміг зібрати достатньо інформації про своє переміщення і на основі розрахунку свого положення по одометрам і зібраної інформації, система проводить розрахунок становища робота на основі фільтра частинок.

Кожна частинка являє собою можливе положення і орієнтацію для мобільного робота.

Припустимо, що за перше переміщення робота, його одометри розраховували його положення і орієнтацію з деякою помилкою, тоді після зупинки робота, ми опитуємо датчики і на основі отриманих координат розраховуємо для кожної частинки її вагу, при цьому позиція кожної частинки визначається зі зміщення роботом, тобто відбувається розкид кожної частинки на основі пройденої роботом відстані і зміни його орієнтації, яка визначається за одометром. Тому важливо, щоб переміщення робота були мінімальними, в іншому випадку розкид частинок буде занадто великим і будуть спостерігатися великі ривки у визначенні положення робота і як наслідок отримана карта може бути серйозно спотворена.

**Відсіювання.** На даному етапі відбувається відсів частинок з маленькою вагою, і обирається частинка з найбільшою вагою, координати і орієнтація цієї частинки і стає новими координатами положення і орієнтації робота і розрахунок в наступній ітерації по одометрам почнеться від цих координат і з розрахованою орієнтацією.

### 2.3 Розробка алгоритму пошуку найкоротшого шляху

В рамках вирішення задачі знаходження найкоротшого шляху, скористаємося алгоритмом  $D^*$ . Алгоритм є оптимальним і ефективним алгоритмом планування траєкторії для мобільного робота. Даний алгоритм може обробляти повний спектр апіорної інформації про перешкоди, включаючи точні вимірювання і їх повна відсутність.  $D^*$  - це узагальнений алгоритм і може використовуватися в інших додатках. Він може вирішувати будь-яке завдання оптимізації маршруту з урахуванням ваги, де параметр ваги змінюється під час пошуку рішення.  $D^*$  найбільш ефективний коли ці зміни визначаються близько початкової точки простору пошуку, що властиво при пошуку найкоротшого

маршруту для робота, обладнаного далекоміром та використовуючи підсистему SLAM.

Для реалізації даного алгоритму введемо такі позначення і визначення. Проблема простору може бути сформульована у вигляді набору напрямків, спрямованих з робота, і мають власну вартість. Рух робота починається в заданій стартовій позиції і триває по обраним напрямкам (які мають найменшу вартість) до тих пір, поки не буде досягнута цільове стан  $G$ . Кожне стан  $X$  за винятком  $G$ , має зворотний показчик наступного стану  $Y$ , що позначається як  $b(X) = Y$ .  $D^*$  використовує зворотні показчики для відображення шляху до мети. Вартість проходження по дугі зі стану  $Y$  в стан  $X$  є позитивним числом, і визначається функцією  $c(X, Y)$ . Якщо стан  $Y$  не має власної дуги до  $X$ , тоді функція  $c(X, Y)$  не визначена. Два стану  $X$  і  $Y$  є сусідніми, якщо визначена функція  $c(X, Y)$ .

Основу алгоритму  $D^*$  складають дві функції: ПРОЦЕС-СТАН і ЗМІНА-ВАРТІСТЬ. Функція ПРОЦЕС-СТАН використовується для підрахунку оптимальної вартості до мети, а функція ЗМІНА-ВАРТІСТЬ використовується для зміни вартості дуги функції з  $(^\circ)$  і додавання задіяного стану в список ВІДКРИТО. Алгоритми для ПРОЦЕС-СТАН і ЗМІНА-ВАРТІСТЬ представлені нижче. Також є такі внутрішні підпрограми: МІН  $(a, b)$ , яка повертає мінімальне з двох скалярних значень  $a$  і  $b$ ; МЕНШ  $(a, b)$ , яка повертає значення ПРАВДА, якщо  $a$  менше ніж  $b$  і ЛОЖ в зворотному; ВАРТІСТЬ  $(X)$ , яка повертає  $h(X)$  для стану  $X$ ; МІН - СТАН, яка повертає стан в списку ВІДКРИТО з мінімальним значенням  $k(^\circ)$  (НУЛЬ, якщо контактів немає); МІН-ЗНАЧЕННЯ, яка повертає  $\min k$  в список ВІДКРИТО (НІ-ЗНАЧЕННЯ, якщо список пуск); ВИДАЛИТИ  $(X)$ , яка видаляє стан  $X$  зі списку ВІДКРИТО і встановлює  $r(X) = \text{ЗАКРИТО}$ ; Вставити  $(X, \text{new } h)$ , Яка розраховує  $k(X) = \text{new } h$  якщо  $r(X) = \text{НОВИЙ}$ ,  $k(X) = \text{МІН}(k(X), \text{new } h)$ , якщо  $r(X) = \text{ВІДКРИТО}$ , і  $k(X) = \text{МІН}(k(X), \text{new } h)$ , Якщо  $r(X) = \text{ЗАКРИТО}$ , встановлює  $h(X) = \text{new } h$  і  $t(X) = \text{ВІДКРИТО}$ , і місце або

повторних станів для списку ВІДКРИТО, відсортованого по  $k$  ( $^\circ$ ). У функції ПРОЦЕС-СТАН в рядках з 1 по 3, стан  $X$  з найменшим значенням  $k$  ( $^\circ$ ) видаляється зі списку ВІДКРИТО. якщо  $X$  найменший стан, то вартість оптимального шляху починаючи з  $h(X)$  еквівалентно старому значенням  $\min k$ . В лініях з 8 по 13, кожен смочке  $Y$  і  $X$  перевіряється для зниження вартості шляху. Крім того, сусід, стан якого НОВИЙ, отримує значення початкової вартості шляху, і вартість змінюється для всіх сусідів  $Y$ , які мають зворотний показник на  $X$ , незалежно від того, від того, чи є нова вартість більше або менше, ніж стара. Так як всі ці стану виходять з  $X$ , то будь-яка зміна шляху вартістю  $X$ , також впливає на вартість шляху. Зворотний показник для  $Y$  перенаправляється в тому випадку, якщо це необхідно, так що монотонна послідовність  $\{Y\}$  сходиться. Всі сусіди, які отримують нову вартість шляху розміщені в ВІДКРИТОМУ списку, так що вони будуть поширювати зміни вартості своїх сусідів.

## 2.4 Розробка вимог до функціональності базового модуля інтелектуальної системи прийняття рішень в розумному домі

Базовий модуль ІСПР РП по суті є “мозком” всієї системи, тому він повинен мати з’єднання зі всіма іншими модулями для їх керування.

Основні можливості:

- визначення місцеположення РП,
- взаємодія з РП, надсилання йому команд,
- отримання нових даних від мобільного робота (наприклад, інформації про нову перешкоду на карті),
- запис інформації до БД.

Головною задачею базового модуля є забезпечення безпечного переміщення РП в РД. Навігація робота виконується через інфрачервоні датчики та одометри.

Для забезпечення збереження інформації потрібно зробити БД, в якій будуть зберігатися:

- карта приміщення,
- інформація про положення робота,

2.5 Розробка вимог до мобільного модуля, що знаходиться в роботизованому пристрої

Як було зазначено раніше наша система є незалежною від типів роботів, які будуть виконувати свої завдання в тому приміщенні де вона розташована. Тому задля взаємодії головного модуля нашої системи з РП, робот повинен мати в собі певний модуль, що буде інтерпретувати вказівки “мозку” системи. Загалом вимоги до цього пристрою будуть в певній мірі залежати від самих розробників РП та також від того, для чого він призначений.

При описі загальної архітектури системи ми побачили, що є різні способи взаємодії робота з головним модулем. Це “спілкування” починається тільки від надання роботу його координат та закінчується тим, що система може сама управляти РП.

Так як ми не знаємо з якою метою буде створений робот і які повноваження нам дадуть розробники, то ми поділимо вимоги на декілька пунктів:

- обов’язкові,
- розширені.

До обов’язкових вимог ми віднесемо тільки можливість навігації РП у будинку за допомогою інфрачервоних датчиків та одометрів

Для розширених вимог, при яких система зможе керувати РП чи надсилати йому певні дані потрібен контролер. Для кожного типу робота потрібен свій



контролер, тому ми не будемо розглядати його устрій. Потрібно лише зазначити вимоги до нього:

- він має розуміти команди, які дає головний модуль системи і інтерпретувати їх на команди для робота,
- мати змогу обмінюватися даними.

Потрібно зазначити, які ж саме команди повинен розпізнавати модуль та переводити їх у команди робота. Це, загалом, команди які керують роботом при його русі:

- їхати вперед на X сантиметрів,
- їхати назад на X сантиметрів,
- повернути наліво на X градусів,
- повернути направо на X градусів,
- зупинитися,
- виконати X алгоритм,

де X - певне число/

## 2.6 Модель «зони безпеки» роботизованого пристрою в приміщенні

Так як ми розробляємо систему безпечного переміщення мобільних роботів в РД, то треба зрозуміти, що саме ми маємо на увазі коли кажемо про безпечний рух, де саме знаходиться ця “зона безпеки” і як вона визначається в будинку.

Під безпечним рухом ми будемо розуміти той рух при якому мобільний робот не буде шкодити ні собі, ні навколишньому середовищу. Головною вимогою є те, щоб робот своєю діяльністю не причинив шкоди людині та його майну.

Як вже казалось раніше система моніторингу має в собі карту, на кожній клітинці якої знаходиться вірогідність того чи є там перепона чи ні. Також на карті містяться координати робота та маяків. Кожна перепона класифікується за принципом її переміщення:

- нерухома – така перешкода, яка не буде змінювати своєї позиції, наприклад стіна, туалет, ванна,
- малорухлива – в основному це така перешкода, яка може бути пересунута через великий проміжок часу. Наприклад ліжка, диван, шафа, холодильник,
- багато рухома – та, позиція якої у середовищі дому може змінюватись дуже часто за малий проміжок часу. Наприклад стілець, людина, тварина тощо.

Звичайно ж через те, що у приміщенні є перешкоди, позиції яких можуть змінюватися та також ті, положення яких може бути невідоме, дуже важко визначити “безпечну зону” у момент, коли прокладається маршрут для мобільного робота. Так як визначення безпечної траєкторії переміщення робота робиться на основі перешкод на карті, то для забезпечення більш “безпечного” переміщення краще прокладати маршрут через зони, де концентрація перешкод, які можуть багато “рухатись”, найменша.

#### Висновки по розділу

У даному розділі описано архітектуру системи, а також вимоги до її окремих модулів. Розроблено алгоритм одночасної локалізації і побудови карти, з використанням обраного підходу на основі фільтра частинок. В ході роботи розглянуті наступні проблеми:

- а) модель мобільного робота,
- б) використовувані датчики,
- в) натомість орієнтирів, які неможливо використовувати через обмеження датчиків, було розглянуто використання сітчастої карти,
- г) запропоновано реалізації алгоритму SLAM на основі фільтра частинок.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В РОЗУМНОМУ ДОМІ

### 3.1 Вимоги до моделювання

У даній роботі для моделювання роботи алгоритму була використане середовище моделювання V-REP. Серед V-REP є середу симулювання роботи різних роботів, при цьому користувачу немає необхідності мати доступ до реальної машини, що дозволяє проводити дослідження і моделювання без прив'язки до робота. З описом роботи середовища і документацією по ній можна ознайомитися в статті V-REP [28]. В якості мобільного робота для моделювання алгоритму SLAM була використана модель двоколісного мобільного робота. Цей робот дозволяє повністю реалізувати розроблений алгоритм SLAM, а також для цього робота можна застосувати алгоритм Брайтенберг, який дозволить забезпечити пересування робота в автоматичному режимі. В якості мови програмування була вибрана мова програмування Python 3.6. Дана мова був використаний завдяки своїй простоті, а також розвиненій системі API, що дозволяє з легкістю зв'язати програму з середовищем моделювання V-REP, а також отримувати всю необхідну інформацію про процес моделювання.

### 3.2 Моделювання алгоритму SLAM

Тепер нам необхідно визначитися з кількістю частинок, яке ми будемо використовувати при моделювання. Як говорилося раніше від числа частинок залежить точність у визначенні положення мобільного робота і відповідно складність обчислення. У даній роботі для всіх випадків ми будемо використовувати 50 частинок, цієї кількості достатньо для визначення положення робота. А також покаже ефективність при використанні різних датчиків для вирішення завдання SLAM. На рис. 3.1 показано розташування

перешкод у початковий момент часу: зеленим кольором показано положення перешкод, білим - порожній простір.

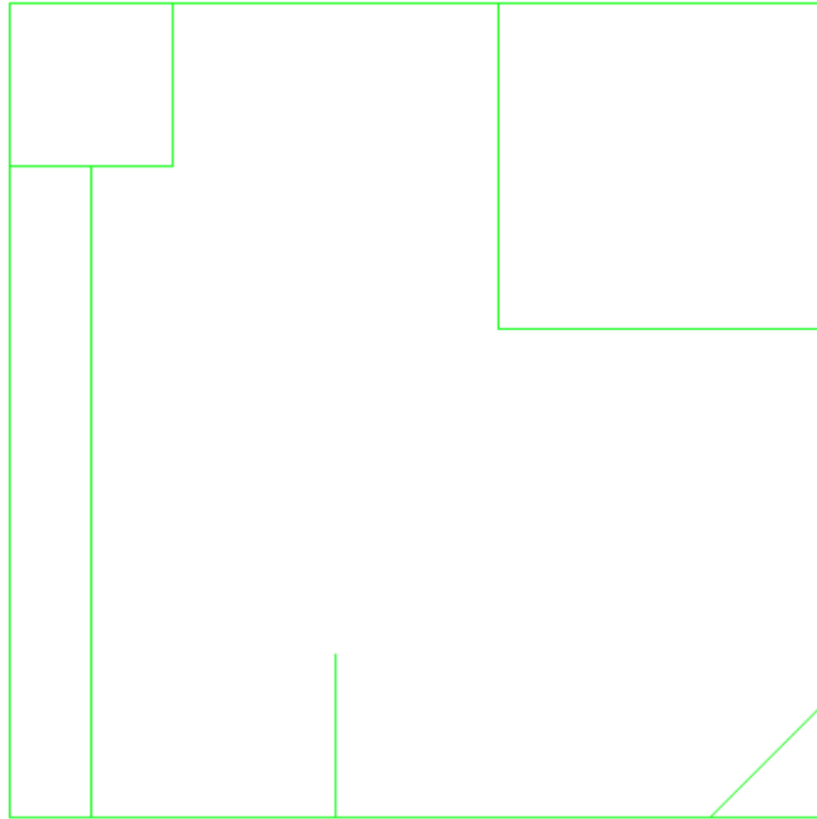


Рисунок 3.1. Положення перешкод

Основним завданням для проведення моделювання є отримання наочних результатів і перевірка правильності роботи алгоритму.

На рис. 3.2 представлений результат роботи програми побудови карти і визначення положення робота за допомогою даних, отриманих від одометрів і лазерних датчиків.

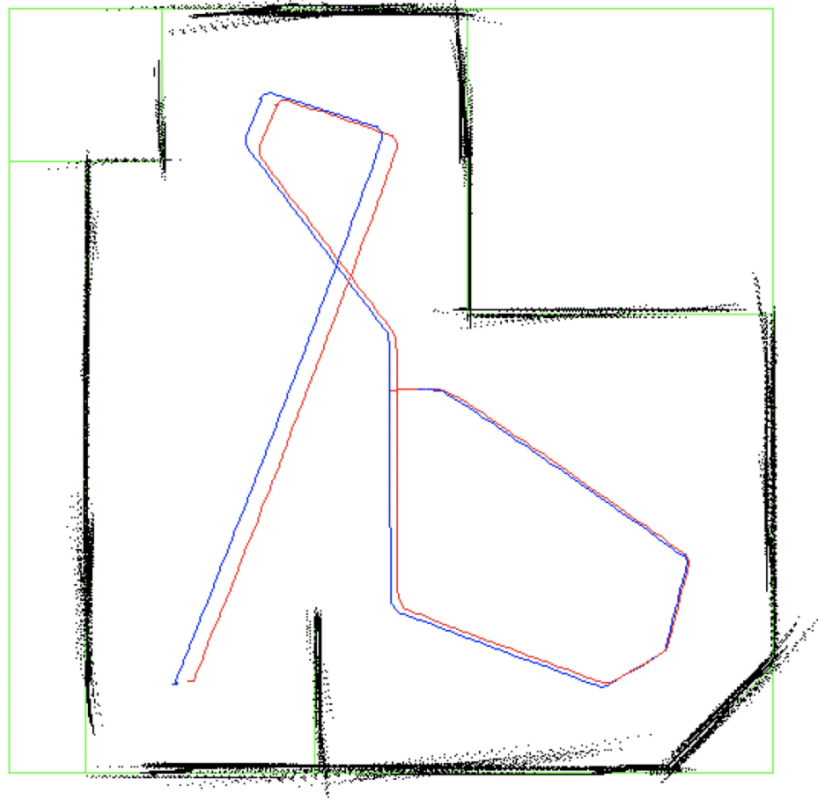


Рисунок 3.2. - Результат побудови карти за допомогою даних, отриманих з одометрів робота та лазерних датчиків

Як видно з рис. 3.2 результат роботи програми в цілому відповідає реальним положенням перешкод, що підтверджує правильність роботи алгоритму. Зміщення і відхилення, які видно на побудованій мапі пояснюються в першу чергу, не достатньою кількістю орієнтирів для розрахунку ваги частинок в деякі моменти переміщення робота.

### 3.3 Моделювання алгоритму знаходження найкоротшого шляху

**Стратегія 1.** Коли датчики робота не фіксують жодних перешкод, то задача зводиться до безпосередньої орієнтації до мети для її подальшого досягнення (вільної навігації до мети). Для різних точок старту (S) і фінішу (F) були отримані траєкторії при різних початкових положеннях шасі, одна з яких приведена на рис. 3.3.

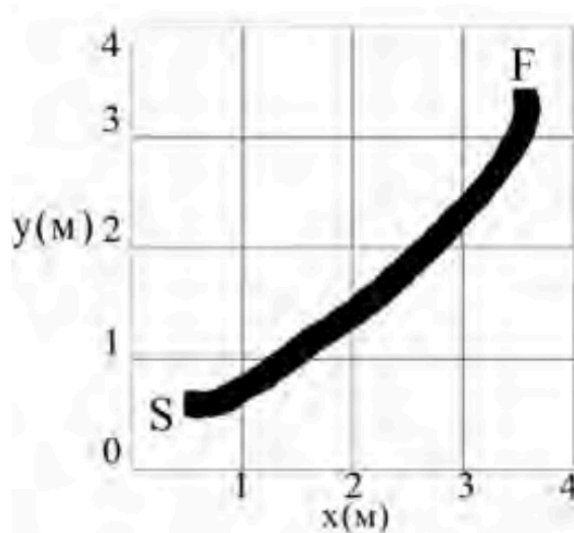


Рисунок 3.3. Траєкторія МР для стратегії 1.

Стратегія 2. Якщо середовище МР містить одне або кілька перешкод, то він повинен мати можливість обійти їх без зіткнень. Як було зазначено вище, система автономної навігації підтримує два елементарних типу поведінки: (Рух до мети (тип 1) і обхід перешкод (тип 2). МР здійснює адекватну дію для досягнення фінального результату, уникаючи зіткнення з перешкодами, вибираючи один з цих двох типів поведінки відповідно до поточної ситуації.

У серії проведених експериментів (для різних типів перешкод) кожен епізод починався з випадкового положення і закінчувався, коли МР досягав мети. Приклади отриманих траєкторій наведені на рис. 3.4.

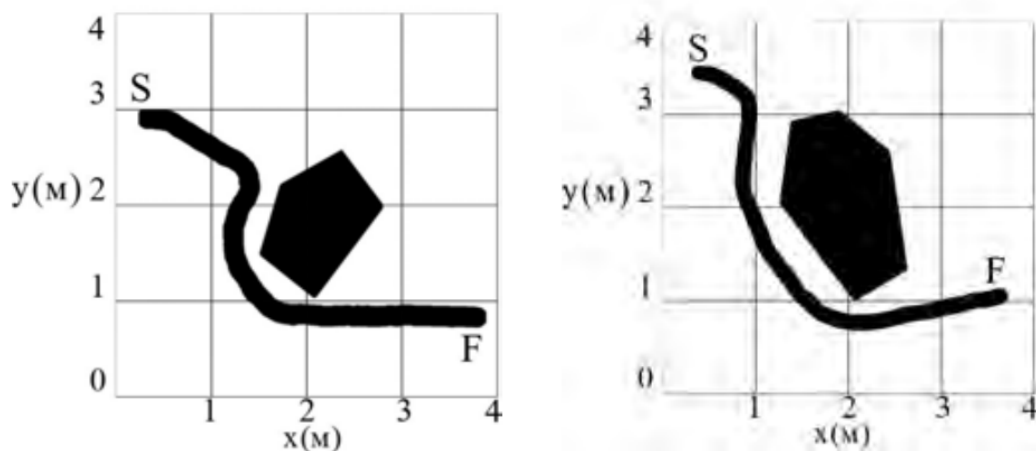
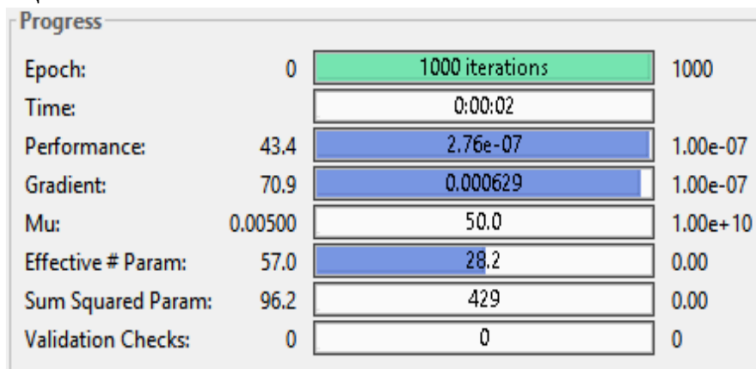


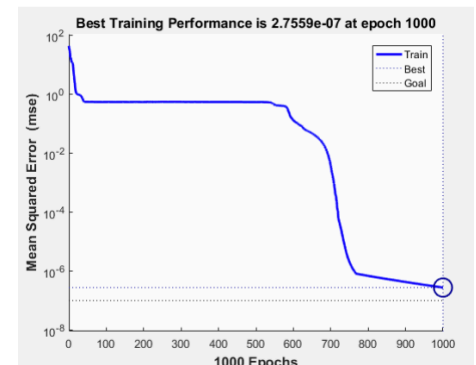
Рисунок 3.4. Траєкторії МР для стратегії 2.

3.4. Моделювання нейронної мережі для визначення швидкості приводів роботизованого пристрою.

На рис. 3.5(а) представлені дані про навчання нейронної мережі, де навчання було завершено за 1000 ітерацій з помилкою рівній  $2,76 \cdot 10^{-7}$ . На рис. 3.5(б) представлений графік зміни помилки навчання протягом кожної ітерації.



(а)



(б)

Рисунок 3.5. Дані про навчання НН (а) та графік зміни помилки (б)

На рис. 3.6 та рис 3.7 представлені результати навчання нейронної мережі для правого і лівого приводу відповідно.

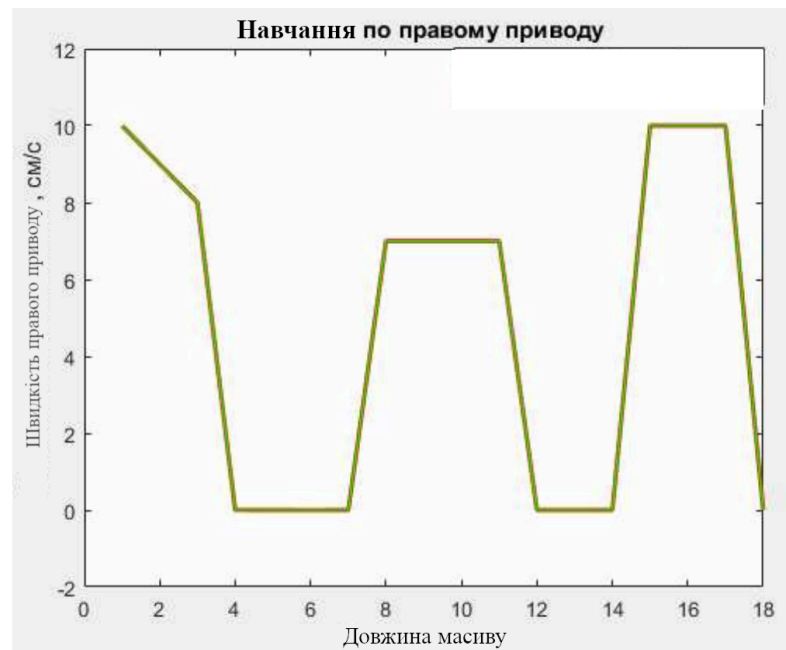


Рисунок 3.6. Результат навчання НМ для правого приводу

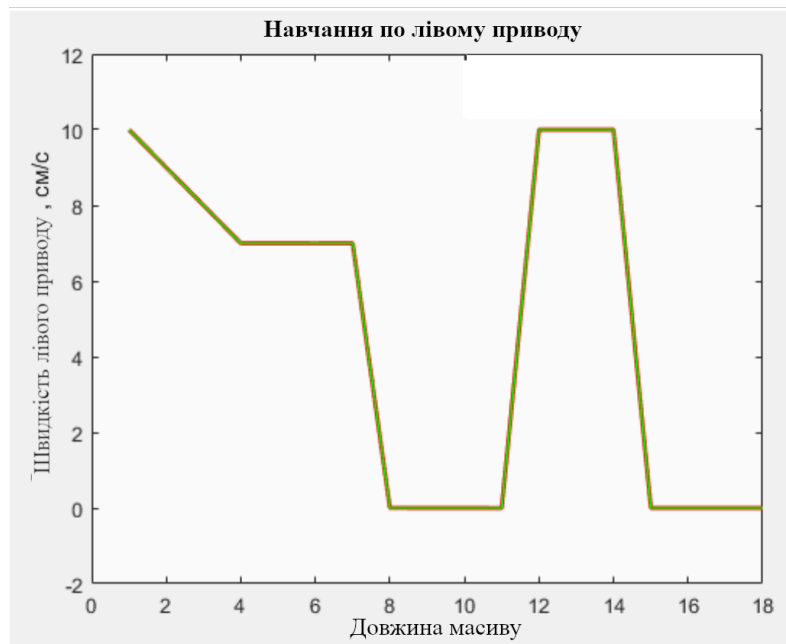


Рисунок 3.6. Результат навчання НМ для лівого приводу

При помилку рівній  $2,76 \cdot 10^{-7}$  графіки абсолютно збігаються, так як значення помилки навчання прагне до нуля. При моделюванні схеми НМ, були штучно задані перешкоди, що з'являються протягом часу - зліва (L), спереду (F) і праворуч (R). Нейронна мережа повинна реагувати на ці сигнали, включаючи або відключаючи потрібний привід для здійснення маневру мобільним роботом. Дані про появу перешкод і установки швидкостей представлені на рис. 3.7.

Виходячи з рис. 3.7 в момент часу від 0 до 1 встановлені відстані до перешкоди дорівнюють 40 см, що є допустимим умовою для руху прямо, що видно за значенням швидкості  $V_R = V_L$ . У момент часу від 1 до 3  $L = 20$ ,  $F = 20$ ,  $R = 30$  - це свідчить про те, що найбільш вільно в правій стороні, таким чином можна побачити, що робот повертає направо, так як швидкість на лівому приводі більше. Далі з 3 до 6 с.  $L = 20$ ,  $F = 40$ ,  $R = 20$ , таким чином шлях попереду вільний і  $V_R = V_L$ . У момент часу з 6 до 10 с.  $L = 30$ ,  $F = 20$ ,  $R = 20$ , отже необхідно повернути ліворуч, так як шлях найбільш вільний, що доводиться встановленою швидкістю  $V_R > V_L$ .



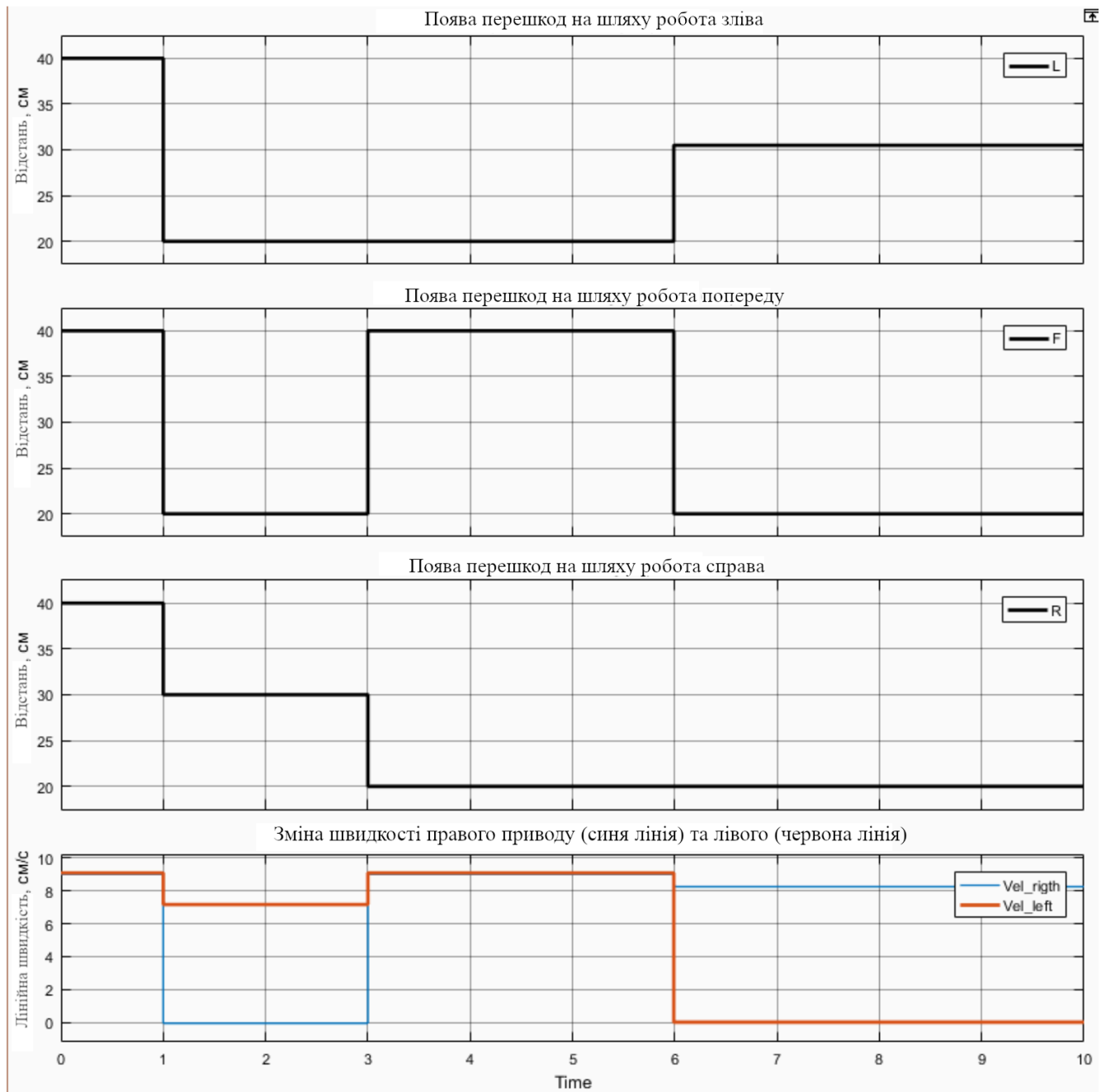


Рисунок 3.7. Результат роботи нейронної мережі

Таким чином, за допомогою даної моделі можна створювати більш складні системи управління мобільним роботом з диференціальним приводом для виявлення і обходу перешкод. Є предтечі для дослідження, спрямоване на розширення емпіричної бази для навчання нейронної мережі та її модифікації для збільшення її адаптивності.

### Висновки по розділу

В даному розділі проведено моделювання розроблених алгоритмів компонентів інтелектуальної системи прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

## 4.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап-проекту

Зміст Ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Робоча інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі для його безпечного переміщення.	Підприємства	Можливість економії часу та коштів через подібну автоматизацію, Оптимізоване витрачання ресурсів на підприємствах, в розумних будинках.
	Сфера обслуговування	
	Розумний дім	

Таблиця 4.2 Визначення сильних слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Продукція конкурентів			W (слабка сторона)	N (середня сторона)	S (висока сторона)
Дипломна робота	Xiaomi	Roomba			
Програмний модуль для реалізації безпечного переміщення роботизованого пристрою в розумному домі	PathPlanning	IntelligentPathFinder	Затрати часу та коштів на кастомізацію даного продукту. Залежність від визначених модулів роботизованого пристрою.	Інтегрування системи в розумний дім та здатність її взаємодіяти з роботизованим пристроєм.	Система працює в реальному часі без допомоги сторонніх засобів, надаючи роботизованому пристрою дані для безпечного переміщення.

#### 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Робота з визначенням очікуваної траєкторії	Використання нейронної мережі, написаної за допомогою бібліотеки Python	Бібліотеки мови програмування Python	Бібліотеки повністю відкриті для використання
2	Робота з наданням команд для роботизованого пристрою	Технології, що були перераховані вище	API, для парсингу, датчики для роботи з параметрами всередині та ззовні розумного дому бібліотеки мови програмування Python	Повністю відкрите для роботи з інформацією, не завжди може бути доступним через комплектацію самого розумного дому, повністю відкрите для роботи з інформацією

Обрана технологія реалізації проекту: 1
---

Висновок: подібна ініціатива з точки зору технологічної реалізації – цілком реальна, обрана технології цілком містять в собі можливість розробити якісний продукт з використанням комбінацій вже готових рішень, комбінацій технологій, що мають змогу працювати з великими масивами даних.

#### 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Таблиця 4.4 Попередня характеристика ринку стартапу

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	3
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум.од.	600 штук/рік на суму 600000 грн.
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні. У конкурентів хоч достатньо сильна гілка впливу, та ця ніша для них не є масовою, аби боятися конкуренції
5	Специфічні обмеження для стандартизації і специфікації	ДСТУ
6	Середня норма рентабельності в галузі або по ринку, %	70%

Висновок: якщо врахувати кількість головних гравців на цьому ринку, динаміку ринку, котра невпинно йде вгору, порахувати кількість головних гравців й обдумати середню норму рентабельності в галузі, то можна дійти до

висновку, що ринок для входження стартап-продукту є доволі привабливим та дає можливість створити деплой з реалізацією на глобальному ринку, оскільки стан економічного розвитку національного ринку не дає можливості досягнення бажаного результату для вдалої реалізації стартапу.

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Використання мобільним роботом безпечних траєкторій, враховуючи перешкоди	Підприємства, навчальні заклади, сфера обслуговування, розумний дім.	Вимоги до функціоналу.	Товар мусить бути легкодоступним, дешевим, зручним та інтуїтивно зрозумілим в користуванні. Також, повинна існувати можливість імплементувати новий функціонал, аби технологія залишилась в попиті якомога довше

Висновок: визначена цільова аудиторія та особливості вимог потенційних споживачів товару.

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренти	Можливість надавати схожі рішення завдання	Можливість змінити цінову політику в меншу сторону Подальша розробка нового продукту Надання патентів/ліцензій іншим компаніям на розробку цієї технології
2	Гроші на розробку та подальшу підтримку	Недостатнє фінансування чи неправильне планування бюджету	Знаходження нових інвесторів, спроба розробок на подальшу перспективу, реструктуризація ланки розробників
3	Вузька спеціалізація	Не дуже велика кількість зацікавлених осіб. Велику вартість встановлення системи розумного будинку.	Проведення маркетингових заходів. Перегляд цінової політики для різних цільових груп споживачів.

Отже, існують загрози та можливості для їх подолання, тому проект можна впроваджувати.

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Нова технологія, що запущена у виробництво	Можливість зменшити монополію, ввести конкуренцію і стабільно прогресувати	Можливість змінити цінову політику в меншу сторону Подальша розробка нового продукту Надання патентів/ліцензій іншим компаніям на розробку цієї технології
2	Інтеграція з іншими модулями	Можливість розширити ринок.	Створення API для інтеграції системи з іншими модулями.
3	Вихід аналогу	Можливість виконати нову функцію щоб відрізнитись від конкуренту	Аналіз ринку для повного заповнення ніші. Також, нова можливість знайти більш дешеву технологію для задоволення користувачів.

Висновок: існують фактори можливостей та шляхи реагування, щоб ними скористатися.



Таблиця 4.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1	Тип конкуренції: монополістична	Продукти конкурентів не є повністю дуальними, а радше хіральними. Повної заміни конкурента не вийде. Ціна перебуває в режимі кореляції, а на ринку ще існують такі поняття як вхід та вихід	Створення ліцензій різних типів, спроба розробки товару, котрий покриватиме решту галузей, спроба вийти на геть інший ринок
2	Рівень конкурентної боротьби: світовий	Товар йде під егідою виробництва транснаціональних компаній, чий продукт був скомпонований різними людьми з різних країн	Налагодження стійкої маркетингової стратегії, спроба знаходження нових ринків збуту
3	Галузева ознака: внутрішньогалузева	Конкуренція здійснюється виключно за однією галуззю(наприклад: ІТ)	Збільшення зручності користування, постійна онлайн підтримка та більше часу на дослідження клієнтських побажань
4	Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Конкуренція постає між продуктами, що належать до одного виду товарів	Надання нового функціоналу, інноваційності та експериментальних рішень
5	Характер конкурентних переваг: цінова та нецінова	Неціновий	Рівень ефективного використання наявних у розпорядженні фірми всіх видів ресурсів.
6	За інтенсивністю: марочна	Спроба введення нового знаку може відрізнити між продуктами-клонами	Введення нової назви, імені та товарного знаку

З цього випливає, що в цього є як позитивні, так і негативні сторони в плані вирішення певних задач.

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

С к л а д о ві а н а лі з у	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Відсутні	Samsung, ECOVACS	Постачальники можливостей для розробки програмного забезпечення на мову програмування Python	Точки продажу техніки, дистриб'ютори ПЗ	Обчислювальні модулі
В и с н о в к и	Прямі конкуренти в основному концентруються на інших напрямках продуктів.	Для потенційних клієнтів характерна доволі нішева клієнтура, тому конкуренція відбувається на корпоративному рівні клієнтів.	Для постачальників характерна турбота про якість товару і зворотна реакція споживачів. Іноді їм властива хитрість, зловживання своїми повноваженнями.	Основний контроль з боку клієнтів може відбутися внаслідок поганої репутації, репрезентації чи жахливого товару.	Можливість введення роботи через програми комп'ютерного зору.

Після проведеного ретельного аналізу, можна дійти до висновку, що на ринок в достатній мірі поки не впливає ніхто і на це існують вагомі причини. Кожен з продуктів, хоч і з подібним призначенням, має в корінні інший спосіб реалізації та інші переваги для подальшого удосконалення товару. З цього випливає, що в цього є як позитивні, так і негативні сторони в плані вирішення певних задач. При випуску в маси, продукт мусить нести в собі оригінальність,

на відміну від аналогів, задовольняти найбільш вишукані потреби великої групи людей, мати доступний та інтуїтивно-зрозумілий функціонал для конфігурацій, подальшу підтримку від розробників.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Автономність	Розроблена система працює повністю автономно, тобто не потребує втручання користувача.
2	Зручність	Система може легко взаємодіяти з іншими модулями розумного дому.
3	Швидкість роботи	Швидкість роботи демонструє наскільки продукт мав продуману архітектуру
4	Оптимізація	Оптимізація є запорукою надійності для користувача, аби той видавав менше помилок
10	Ціна	Більше шансів, що звернуть увагу на той товар, що є дешевшим за його аналоги, особливо якщо він кращий за аналоги

Таблиця 4.12. SWOT аналіз стартап-проекту

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
Маркетинг	
Можливість застосувати поширені типи реклами та маркетингу	Впізнаваність мінімальна. Необхідно проводити маркетингову компанію.
Виробництво	
Необхідне лише середовище для розробки програмного забезпечення та інформаційне забезпечення для розробки алгоритмів.	Все це є у відкритому доступі. Таким чином конкуренти теж мають до цього доступ.
Персонал	
Знайти персонал в ІТ не є складною задачею	Невелика кількість професійних спеціалістів у сфері робототехніки
Можливості (O)	Загрози (T)
Підвищення впізнаваності та створення бренду	Необхідна велика кількість ресурсів для проведення маркетингової компанії
Вихід на закордонні ринки	Конкуренція з боку великих компаній
Розширення функціоналу розробленої системи	Недостатньо високий попит

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Безкоштовне надання певного функціоналу у користування споживачам на обмежений термін	Головне – людський ресурс, який є в наявності	2-3 місяці
2	Реклама	Використання власних грошей для просування товару	1-2 місяці
3	Написання статей та опис товару на відомих ресурсах	Головне в SEO просуванні – обережність у маніпуляції з видачею, і час	2-3 тижні
4	Презентація товару на хакатонах й інших ІТ заходах	Головні ресурси – це гроші на презентацію, та час очікування	1-3 місяці

## 4.4 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства	Висока	Висока	Середня	Середня
2	Сфера обслуговування	Низька	Низька	Дуже низька	Висока
3	Розумний дім	Середня	Середня	Низька	Висока
Які цільові групи обрано: 1, 3					

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Надання унікальної функціональності, котра не буде доступна для конкурентних товарів	Проведення маркетингових кампаній, рекламування сильних та унікальних сторін продукції через всевітню павутину, пряму зі споживачами для здобуття їх прихильності	Зменшення параметру, що відповідає за замінність, здобуття прихильності клієнтів, Відмінні властивості та характеристики продукту	Стратегія диференціації

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, які?	Базова стратегія розвитку
Так	Буде шукати нових та в деяких ринках забирати у існуючих конкурентів.	Ні, так як повних аналогів немає.	Стратегія зайняти конкурентну нішу

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1	Правильність розрахунків	Диференціація	Коректність	Висока якість
2	Простий інтерфейс	Диференціація	Зрозумілість	Простота
3	Наявність супровідного матеріалу	Диференціація	Доступність матеріалів	Супровід

Відповідно до аналізу вище, ми дійшли до висновку, що стартап-компанія вибирає як базову стратегію розвитку-стратегію диференціації, як базову стратегію конкурентної поведінки-стратегію заняття конкурентної ніші.



#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Правильність розрахунків	Всі розрахунки підлягали ретельній перевірці	Готових рішень для наших проблем наразі немає
2	Простота та зрозумілість	Легка взаємодія	Автономність
3	Простота взаємодії з іншими модулями	Наявність супровідної інформації	Надання доступно викладного матеріалу для використання

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Система керування пристроєм в розумному домі		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/ характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Правильність розрахунків	М	Тл
	Швидкість роботи	М	Тх
	Вартість	Нм	Тх
	Документація	Нм	Тл
	Технічна підтримка	Нм	Тх
3. Товар із підкріпленням	До продажу: наявна повна документація, акції на придбання декількох ліцензій, знижки для певних сегментів на покупку товару		
	Після продажу: додаткова підтримка спеціалістів налаштування, підтримка з боку розробника		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: захист інтелектуальної власності, патент			

Отже, потрібна до продажу потрібна наявна повна документація, акції на придбання декількох ліцензій, знижки для певних сегментів на покупку товару, а після продажу додаткова підтримка спеціалістів налаштування, підтримка з боку розробника.

Таблиця 4.21 Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
500 – 1000 грн./од.	1000 – 2000 грн./од.	6 000 – 15 000 грн./міс.	300 – 700 грн./од.

Таблиця 4.22 Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Для звичайних людей звичайний акаунт, Власники закладів можуть створити корпоративний акаунт. Люди з обмеженою можливістю отримають доступ до програми зі знижкою	Можливість скачувати додаток влюбий час, у будь-якому місці.	2 рівня (посередник + клієнт)	Роздріб

Таблиця 4.23. Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канал комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Інженери-розробники	Форуми, приватні зустрічі з компанією розробником, реклама в соціальних мережах, пошукові запити по відповідній тематиці.	Надійність, правильність розрахунків, мобільність та зручність.	Показати можливість користування продукцією для клієнта Показати перспективу користування системою Показати можливість користування продукцією для клієнта	Рекламне звернення спрямовано до потенційних клієнтів, де показуються плюси користування системою
2	Студенти				
3	Власники розумних будинків				

Як результат, було створено ринкову програму, що представляє собою визначення основних переваг створеної концепції, його опис, межі встановленої цінової політики, формування ринку збуту та маркетингової компанії заради створення маркетингових комунікацій.

### **Висновки до розділу**

У четвертому і останньому розділі було побудовано стратегії з етапами розробки старта-проекту, визначено присутність попиту, на даний товар, рентабельності роботи ринку, динаміки. Розглянувши конкурентоспроможність клієнтів та параметри самого проекту, було встановлено що проект є перспективним.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проекту розглянуто сучасні проблеми, пов'язані з місцезнаходженням мобільного робота у середовищі замкненого простору та алгоритми прокладання маршруту. Обґрунтовано причину розробки інтелектуальної системи прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі. Описано архітектуру та вимоги до даної системи.

На основі аналізу сучасних систем та методів позиціонування, обрано в якості основи алгоритмів SLAM фільтр часток та описано як він працює, алгоритму знаходження найкоротшого шляху та технологію керування рухом мобільного робота.

Для описаної системи, на основі розглянутих алгоритмів, сформовано алгоритми одночасної локалізації та розробки карти(SLAM), пошук оптимального шляху(трасування та формування траєкторії), керування рухом(обхід перешкод), що дозволяють безпечно переміщуватися роботу по будинку.

Можна виділити чотири основних класи задач навігації роботизованого пристрою: локалізація, побудова карти місцевості, планування та слідування траєкторії. Недоліками існуючих систем є рішення задач тільки певних класів, що накладає обмеження на впровадження таких систем. Розроблена інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі об'єднує вирішення задач цих класів.

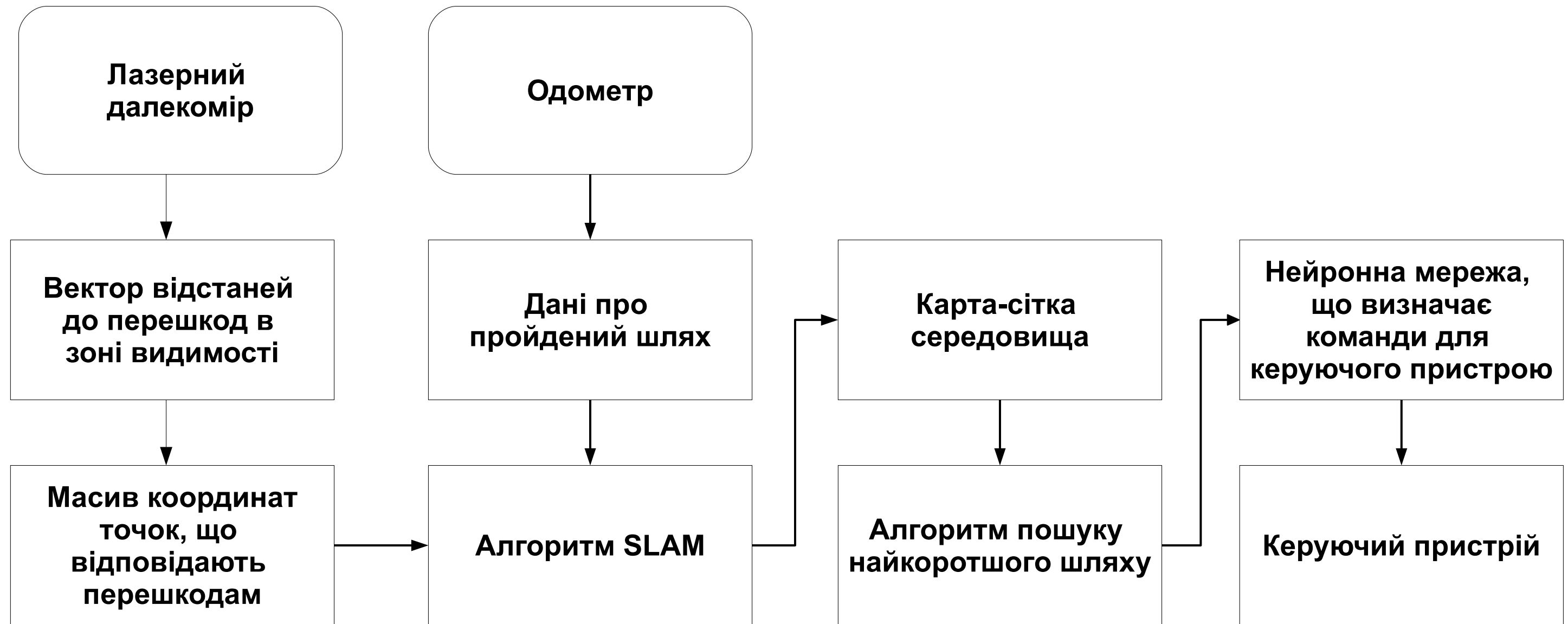
## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Nanotron Technologies. <https://nanotron.com>
2. Принцип невизначеності Гейзенберга. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Принцип\\_невизначеності](https://uk.wikipedia.org/wiki/Принцип_невизначеності)
3. Decawave. <https://decawave.com>
4. ОНТП 24-86. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. <https://dnaop.com>
5. A new approach to linear filtering and prediction problems / R. E. Kalman // Journal of Basic Engineering. – 1960. – №2. – С. 35 – 45.
6. Enhanced SLAM for a Mobile Robot using Extended Kalman Filter / K.S. Choi, and S.J. Lee // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. – 2010. – №2. – С. 255–264.
7. Адаптация фильтра Калмана для использования с локальной и глобальной системами навигации / А.Н. Забегаев, В.Е. Павловский // XII национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. – М., – 2010. – Физматлит. – С. 399-404.

ДОДАТОК А  
Графічні матеріали

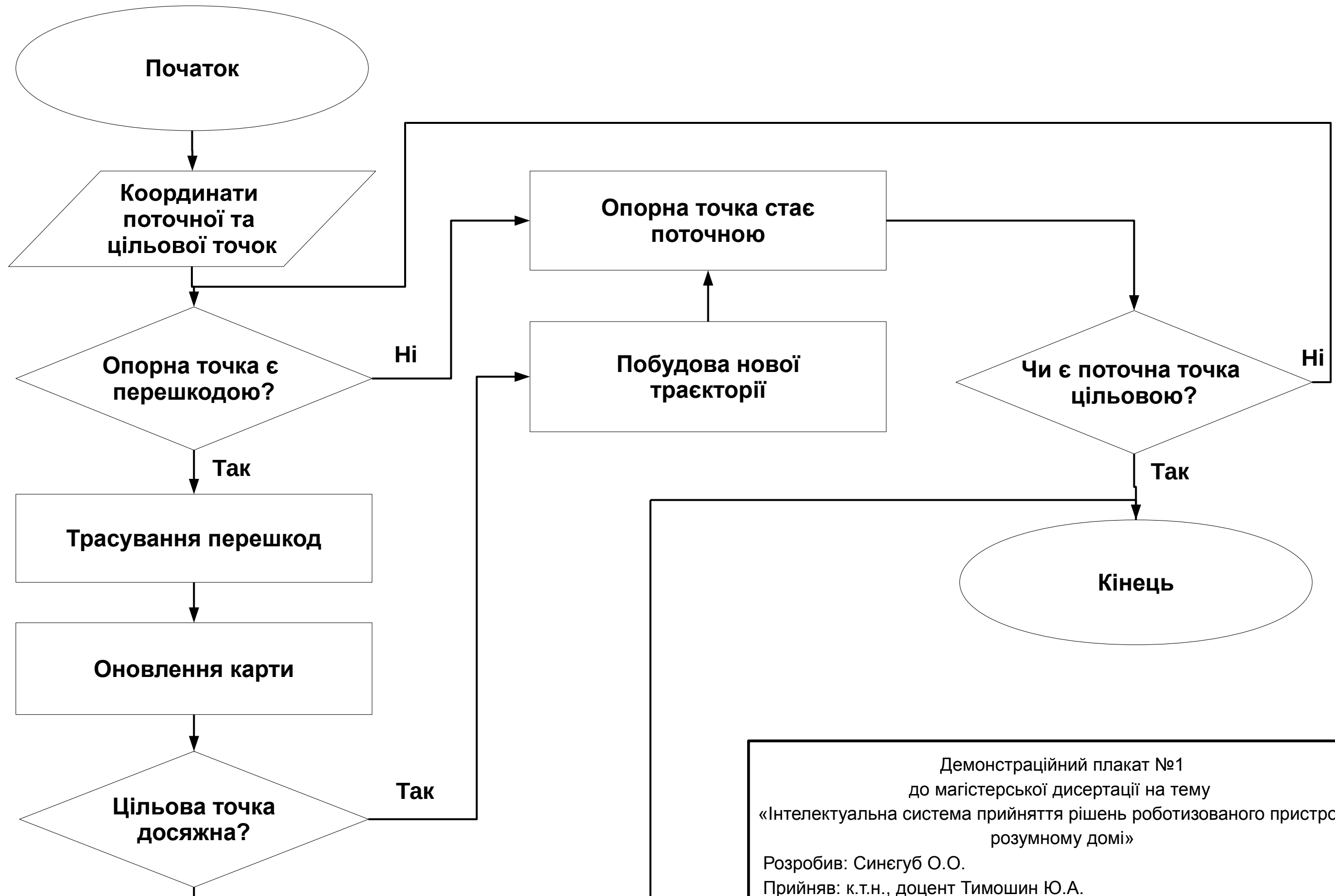


# Структура системи навігації



Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

# Загальний алгоритм планування для побудови траєкторії



Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

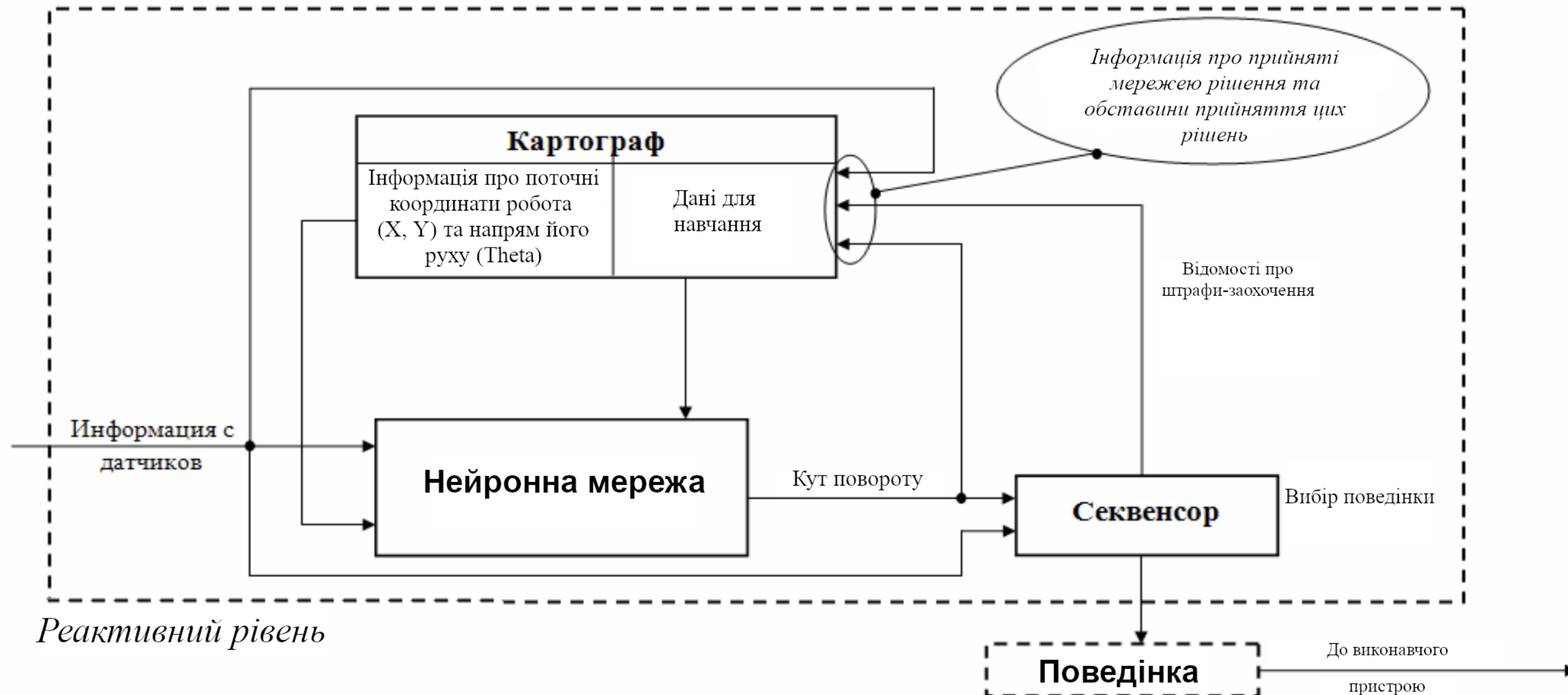
# Архітектура системи управління рухом мобільного робота

Логічний рівень

Планувальник місій

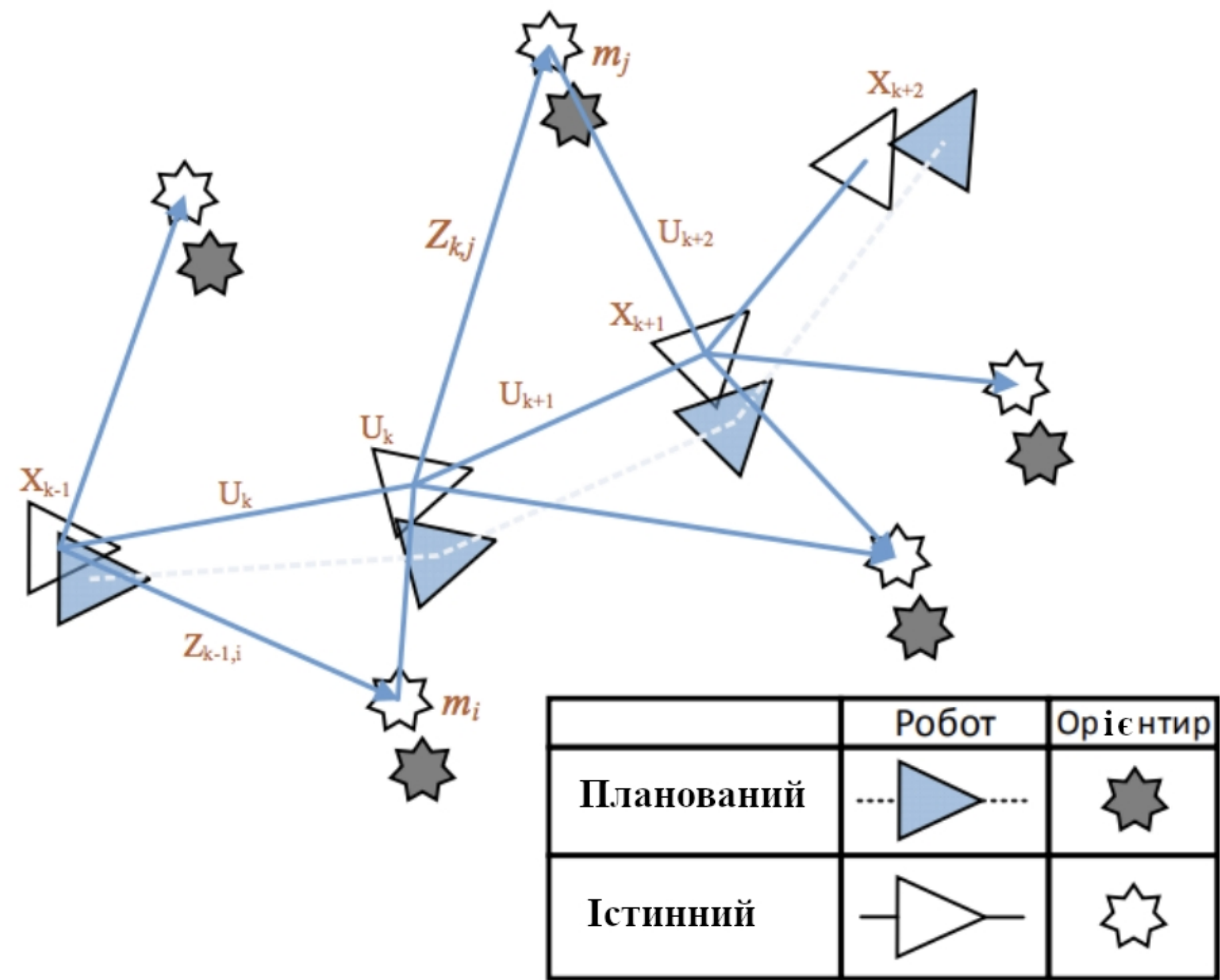
Вибір режимів роботи

Проміжний рівень



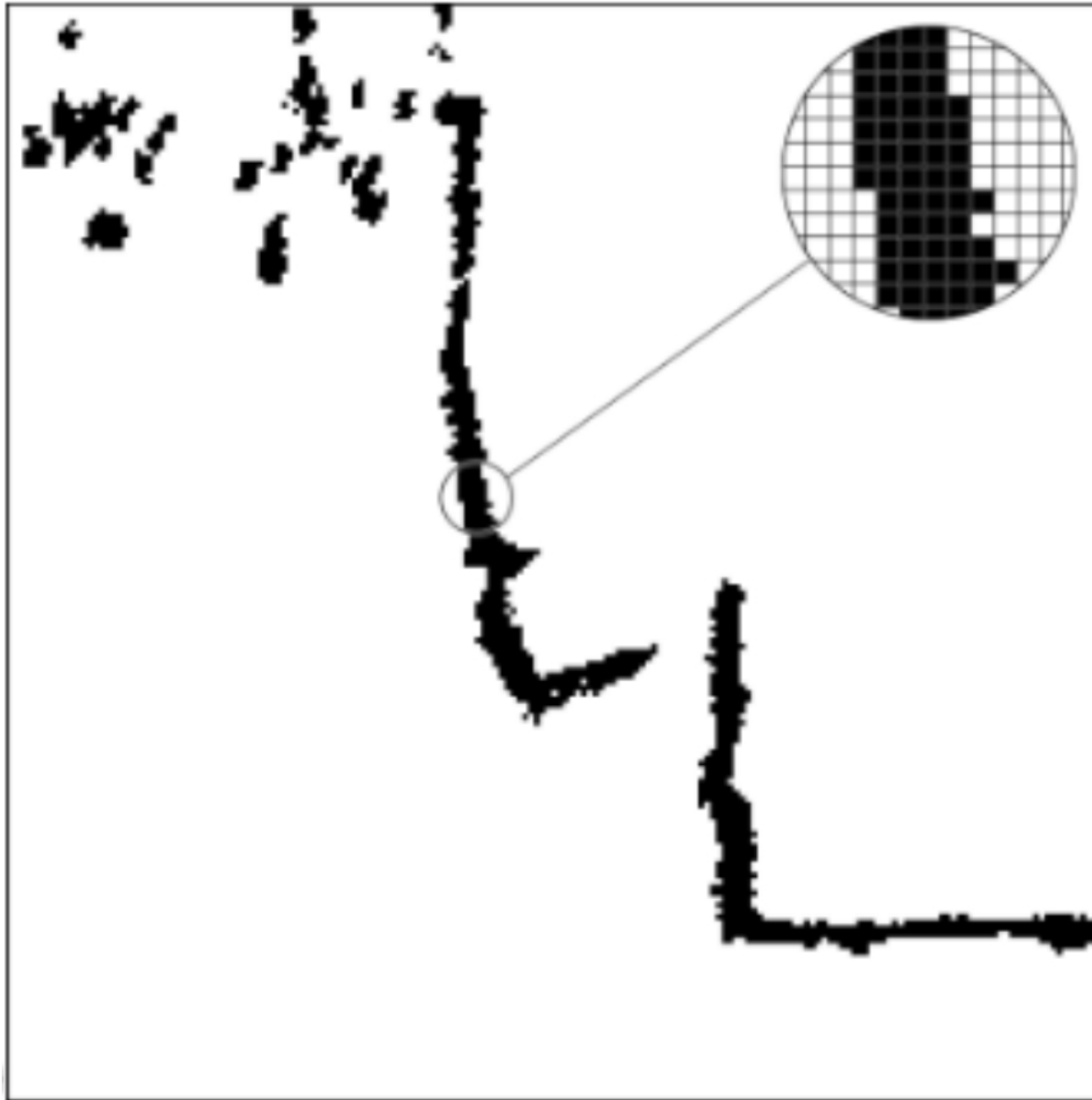
Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

# Схема роботи алгоритму SLAM

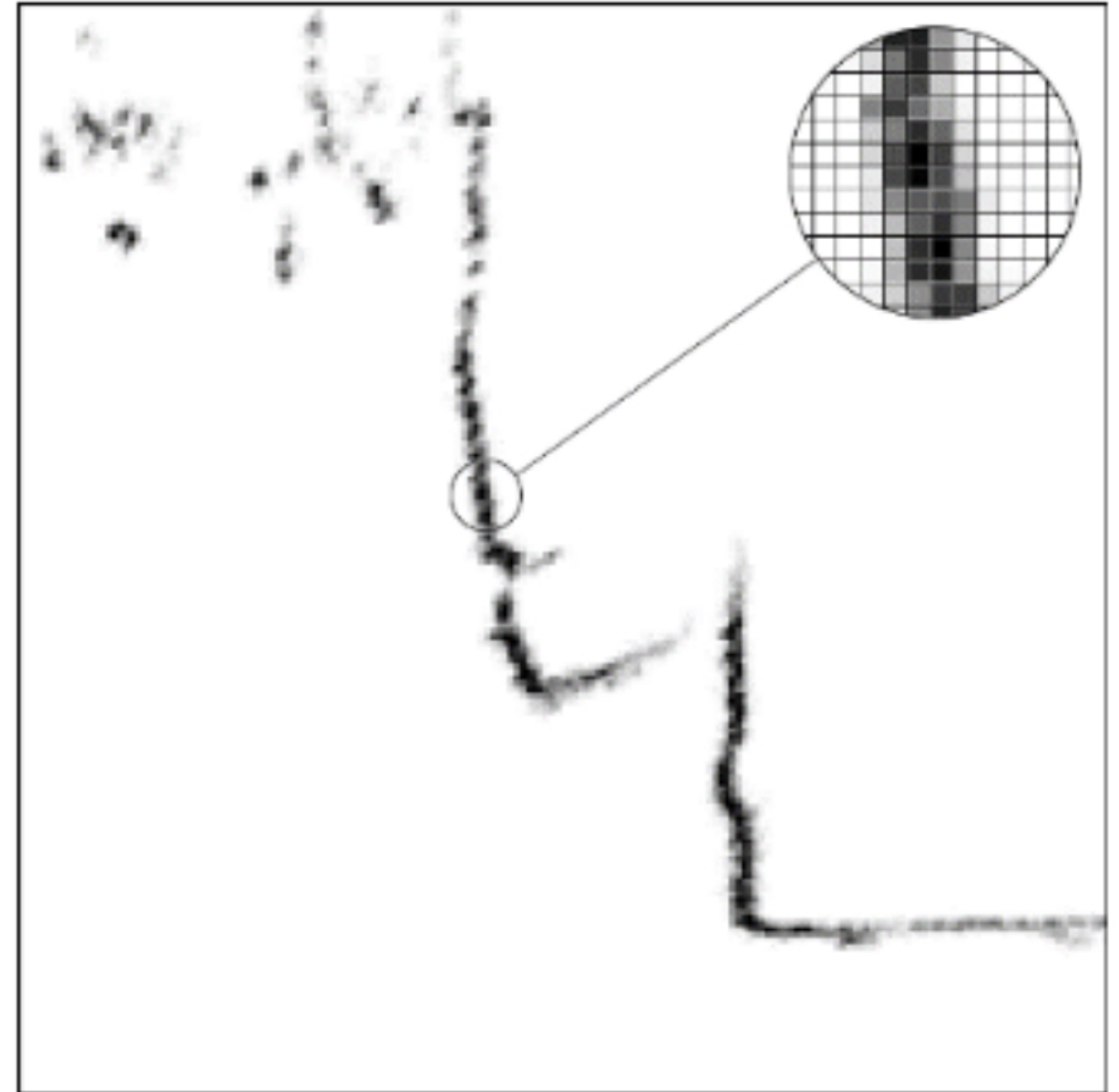


Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

# Графічна інтерпретація карти



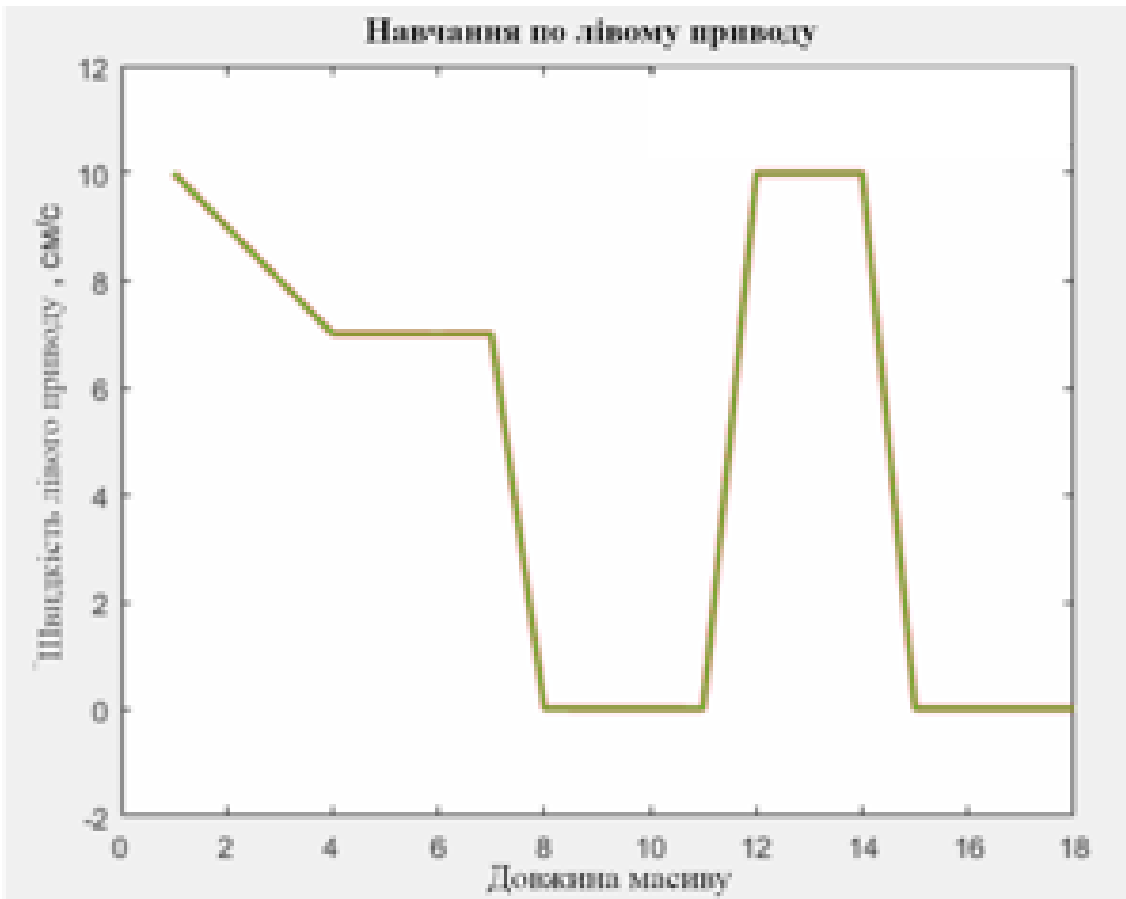
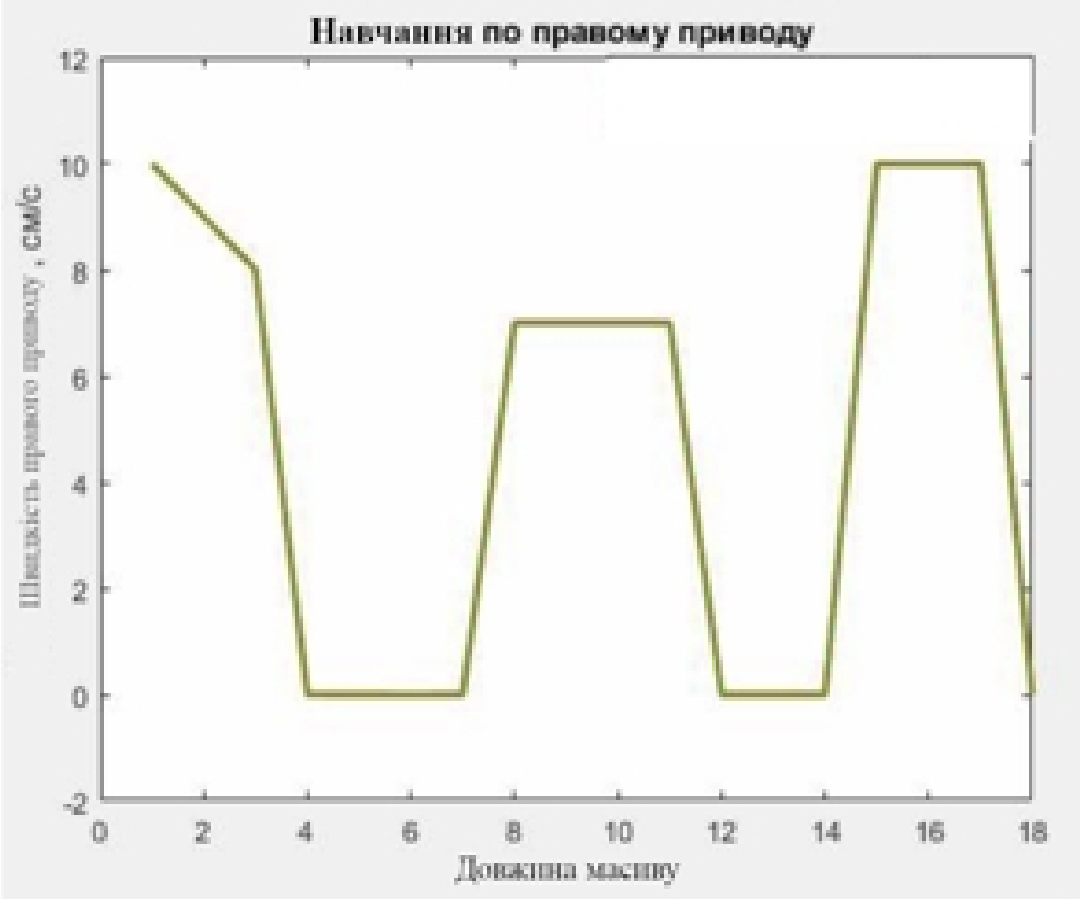
Бінарне представлення



Представлення у вигляді вірогідностей

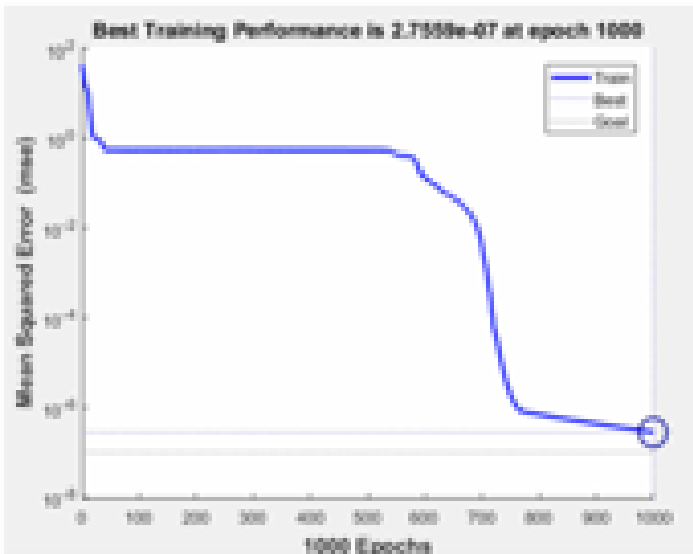
Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

# Навчання нейронної мережі



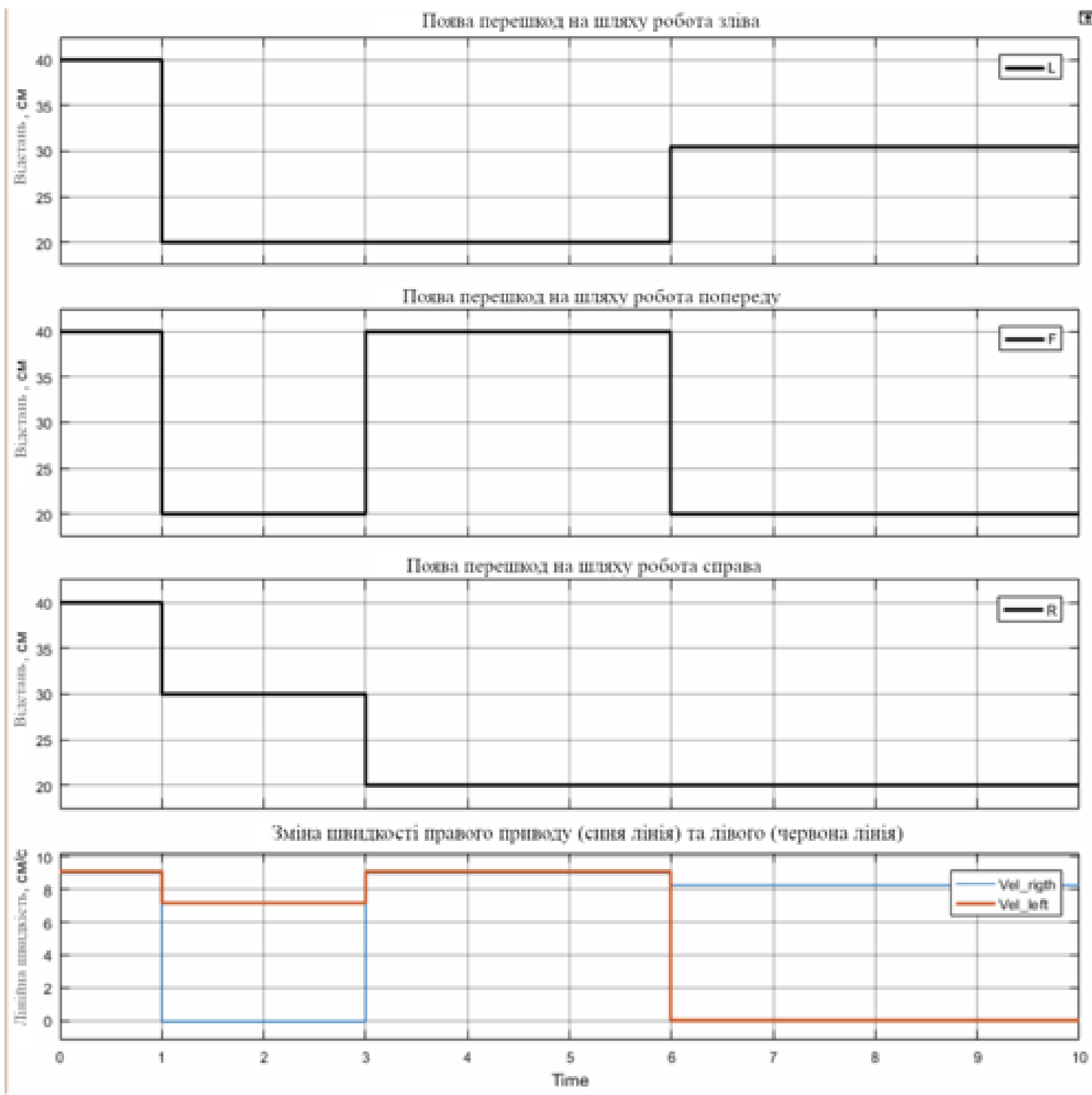
Progress

Epoch:	0	1000 iterations	1000
Time:		0:00:02	
Performance:	43.4	2.76e-07	1.00e-07
Gradient:	70.9	0.000629	1.00e-07
Mu:	0.00500	50.0	1.00e+10
Effective # Param:	57.0	28.2	0.00
Sum Squared Param:	96.2	429	0.00
Validation Checks:	0	0	0



Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в  
розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.

# Приклад роботи нейронної мережі



Демонстраційний плакат №1  
до магістерської дисертації на тему  
«Інтелектуальна система прийняття рішень роботизованого пристрою в розумному домі»  
Розробив: Синегуб О.О.  
Прийняв: к.т.н., доцент Тимошин Ю.А.